

## **ECOTOPEN IN DE WESTERSCHELDE**

LTV VEILIGHEID EN TOEGANKELIJKHEID

17 april 2014  
: - Gecontroleerd  
C003041.002666.





# Inhoud

1	Inleiding.....	3
1.1	Ecotopenkaarten.....	3
1.2	De Westerschelde.....	4
1.3	Aanleiding, beleid- en beheervragen en doelstelling.....	4
1.4	Ecotopenkaarten Versie eind 2013 en eerdere versies.....	5
1.5	Gebruikte gegevens .....	6
2	Trends en ontwikkelingen .....	7
2.1	Inleiding .....	7
2.2	Uitwisseling areaal droogvallende delen met areaal geulen.....	7
2.3	Toename laagdynamisch delen in de geulen (sublitoraal) .....	9
2.4	Toename areaal schor .....	10
2.5	Afname areaal natuurlijk hardsubstraat, gevolgd door geleidelijke toename.....	12
2.6	Toename laagdynamische delen en afname hoogdynamische delen op de droogvallende delen (litoraal) .....	14
3	Bandbreedte .....	16
3.1	Inleiding .....	16
3.2	Geomorfologische kaarten.....	16
3.3	Hoogdynamisch areaal.....	17
3.3.1	Megaribbels in het hoogdynamische areaal .....	17
3.3.2	Hoog dynamisch golvend reliëf .....	19
3.4	Begrip voor de bandbreedte .....	20
4	Veranderingen in het hoogdynamische areaal .....	22
4.1	Inleiding .....	22
4.2	Megaribbelvelden .....	22
4.3	Waarom mega ribbels of vlakke bodems.....	25
4.4	Minder plaalementen en minder hoog-energertische gebieden .....	29
4.5	Verschuiving van megaribbels naar vlak.....	32
5	Het ontstaan van schorren op de platen.....	33
5.1	Inleiding .....	33
5.2	Hogere platen .....	33
5.3	Waarom is er geen schor op de Plaat van Ossensisse? .....	36
6	Conclusies en kennisvragen.....	39
6.1	Conclusies: Trends in de ontwikkeling van de arealen.....	39
6.2	Kennisvragen.....	39
7	Referenties.....	41
Bijlage 1	Ecotopenarealen .....	44

Bijlage 2	Ecotopenkaarten.....	45
Bijlage 3	Geomorfologische kaarten.....	53

# 1

## Inleiding

### 1.1 ECOTOPENKAARTEN

De ecotopenkaarten in de Westerschelde worden gebruikt om uitspraken te doen over de ecologische waarden van dit deel van het Schelde-estuarium. Het belang dat aan deze kaarten worden gehecht is groot. Wat zijn dan de ecotopen? Daarvoor wordt de definitie uit het Zoute EcotopenStelsel (ZES, (Bouma e.a., 2005) gehanteerd:

*“Ecotopen zijn ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse. Een ecotoop is een herkenbare, min of meer homogene landschappelijke eenheid.”*

De basis voor de ecotopenindeling ligt in het Zoutwater Ecotopen Stelsel (ZES, Bouma e.a., 2005). Het ecotopenstelsel is een hiërarchisch opgebouwde indeling (classificatiesysteem) waarin de meest belangrijke abiotische omgevingsfactoren (mate van droogvallen, type substraat, saliniteit) en biotische aspecten (aanwezigheid begroeiing,) van de habitats<sup>1</sup> worden weergegeven.

De ecotopenkaarten geven inzicht in het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in en vlak boven de bodem (Bouma e.a., 2005). Het is dus niet zo dat de aanwezigheid van een ecotoop een garantie biedt op de aanwezigheid van een bepaalde levensgemeenschap. De daadwerkelijke ecologische kwaliteit van een gebied kan door factoren worden bepaald die geen onderdeel zijn van het ecotopenstelsel. Dat kunnen factoren binnen het gebied zijn, zoals de hoeveelheid zwevend stof in het water, maar ook factoren buiten het gebied, bijvoorbeeld het broedsucces van trekvogels die in het gebied overwinteren.

Naast het inzicht in het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen, zijn nog twee doelstellingen van het ZES geformuleerd namelijk:

- Om voorspellingen te kunnen doen over mogelijke veranderingen in het ecosysteem als de omgevingsfactoren veranderen als gevolg van inrichting -en beheermaatregelen.
- Om vergelijkingen mogelijk te maken met situaties in het verleden, bijvoorbeeld bij evaluaties.

Het gebruik van ecotopenkaarten in verschillende projecten (MOVE, MER, Natuurontwikkeling, Evaluatiemethodiek en T2009) past geheel bij de oorspronkelijke doelstellingen van het ZES. De ecotopen zijn beschouwd als indicator voor de ecologische kwaliteit van de Westerschelde.

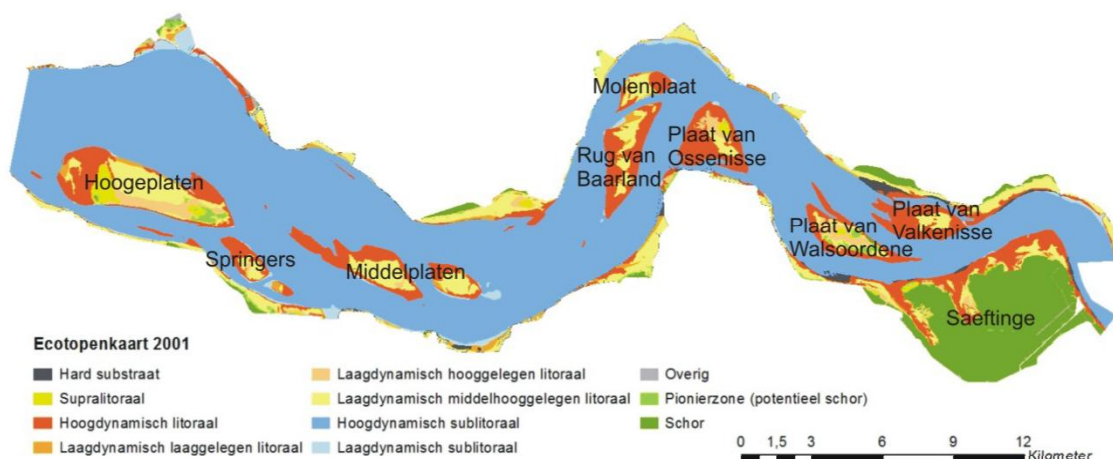
<sup>1</sup> “Een habitat is de leefomgeving waarin een bepaalde soort leeft. Een soort kan verschillende habitats nodig hebben in de loop van een jaar of zijn levenscyclus. Deze habitats kunnen bij elkaar liggen (bijvoorbeeld lage zandplaat – hoge zandplaat; lage zandplaat – sublitoraal) of in verschillende gebieden liggen (bijvoorbeeld toendra Siberië – Waddenzee).” uit ZES, Bouma e.a., 2005.

De interesse in de ontwikkeling van de ecologische kwaliteit van de Westerschelde is groot, omdat de noodzaak, het nut en de haalbaarheid van ingrepen in en rond de Westerschelde gekoppeld zijn aan die kwaliteit. En dat verklaart de grote belangstelling voor de ecotopenkaarten.

Hierbij hoort een kanttekening: De daadwerkelijk ecologische kwaliteit van de Westerschelde is (onder andere) gekoppeld aan de daadwerkelijke aanwezigheid van bodemdieren (vogel- en vissenvoedsel) en de benutting van het voedsel door met name vogels in het intergetijdengebied. De ecotopenkaarten laten niet zien hoeveel bodemdieren daadwerkelijk aanwezig zijn, de kaarten bieden inzicht in het potentiële voorkomen.

## 1.2 DE WESTERSCHELDE

De Westerschelde is, met de monding, het Nederlandse deel van het Schelde-estuarium. In dit rapport wordt als de westelijke begrenzing van de Westerschelde de grens van het in de ecotopenkaarten gekarteerde gebied genomen (figuur 1). Deze grens ligt iets oostelijke van de denkbeeldige lijn tussen Vlissingen en Breskens die vaak als grens wordt gehanteerd. Ten westen van de Westerschelde ligt de monding van de Westerschelde, waarvan de Vlake van de Raan een belangrijk onderdeel is<sup>2</sup>. Aan de oostzijde gaat de Westerschelde op de Vlaams-Nederlandse grens over in de Zeeschelde. Deze grens is gehanteerd in dit rapport.



Figuur 1 De Westerschelde.

## 1.3 AANLEIDING, BELEID- EN BEHEERVragen EN DOELSTELLING

De aanleiding voor een nieuwe en uitgebreide analyse van de ecotopenkaarten is het beschikbaar komen van een nieuwe set ecotopenkaarten.

De ecotopenkaarten worden gebruikt als indicator voor de ecologische kwaliteit van het estuarium.

Beleid- en beheervragen rond de ecotopenkaarten zijn:

1. Hoe gaat het met de ecologische kwaliteit van de Westerschelde?
2. Wat is de verwachte ontwikkeling van de ecologische kwaliteit van de Westerschelde, rekening houdend met het huidige gebruik van het estuarium?

<sup>2</sup> De zeewaartse begrenzing die in dit rapport (en in vele andere studies) is gebruikt is anders dan de begrenzing van het Natura-2000 gebied Westerschelde & Saeftinghe. Het Natura-2000 omvat namelijk ook een belangrijk deel van de Westerscheldemonding.

3. Op welke wijze dragen (natuurherstel)maatregelen en andere nieuwe ingrepen bij aan de ecologische kwaliteit?

In dit rapport wordt vooral ingegaan op de eerste vraag en wordt een aanzet gegeven voor nieuwe antwoorden op de tweede en derde vraag. Voor een gedegen antwoord op de eerste vraag moeten de waargenomen ontwikkelingen geanalyseerd worden en worden vastgesteld welke ontwikkelingen en trendbreuken 'echt' zijn, of dat deze passen binnen de bandbreedte die eigen is aan de methodiek. Hierbij is het gewenst om te begrijpen welke fysische en ecologische processen aan de ontwikkelingen ten grondslag liggen. Dat begrip is nodig om de waargenomen veranderingen te kunnen verklaren en om verwachtingen op te stellen over de toekomstige ontwikkelingen. Dat geldt zowel voor de autonome ontwikkelingen, als de gevolgen van maatregelen en ingrepen. Bepaalde (natuurherstel)maatregelen in en bij de Westerschelde hebben als doel om ecologische kwaliteit van het estuarium te vergroten. Daarvoor wordt vaak als doelstelling de toename van bepaalde ecotopen (laagdynamisch litoraal, schor) gehanteerd. Om die doelstelling te bereiken is het belangrijk te begrijpen welke omstandigheden (abiotische condities) door de herstelmaatregelen moeten worden gecreëerd. De (veranderingen in de) abiotische condities zijn grotendeels verantwoordelijk voor de waargenomen ontwikkelingen van de ecotopen in de afgelopen jaren. Kennis van deze (veranderingen in de) abiotische factoren levert inzicht in de wijze waarop (natuurherstel)maatregelen vorm kunnen worden gegeven.

De doelstelling van het voorliggende rapport is daarmee tweeledig:

1. Inzicht bieden in de trends en ontwikkelingen van de ecotopen in de Westerschelde, met inbegrip van de bandbreedte rond de veranderingen;
2. Een aanzet geven tot een groter inzicht in de fysische processen die ten grondslag liggen aan (veranderingen in) de trends en ontwikkelingen.

#### 1.4 ECOTOPENKAARTEN VERSIE EIND 2013 EN EERDERE VERSIES

De analyse en de interpretatie van de ecotopenkaarten en de conclusies die daar uit worden getrokken hebben betrekking op de Ecotopenkaarten 1996, 2001, 2004, 2008, 2010, 2011 en 2012 (versie V3 uit december 2013). Deze kaarten zijn op consistente en eenduidige wijze vervaardigd en kunnen onderling vergeleken worden.

Vergelijking van de ecotopenkaarten versie 2013 V3 met eerdere opleveringen van de ecotopenkaarten en dus ook met de oudere kaarten (1959, 1965, 1977, 1988) is niet zonder meer mogelijk omdat deze ecotopenkaarten op andere wijze tot stand zijn gekomen en andere ecotopenklassen zijn gehanteerd. Het is daarom nog niet mogelijk om trends of trendbreuken te bepalen in de ontwikkelingen voor 1996. Hiervoor dienen ook de oudere ecotopenkaarten opnieuw te worden samengesteld, volgens dezelfde werkwijze als is gehanteerd voor versie 2013 V3 ecotopenkaarten.

Eerdere constatering over het optreden van trends en trendbreuken in de ecotopenkaarten (zoals in het rapport "Vervolgonderzoek drie buitendijkse maatregelen voor natuurherstel in de Westerschelde, januari", 2013) hebben niet noodzakelijkerwijs betrekking op werkelijke ontwikkelingen, maar kunnen berusten op veranderingen in de wijze waarop de ecotopenkaarten worden samengesteld.

De benamingen/typeringen van de ecotopenkaarten versie V3 (december 2013) komen niet overeen met benamingen de 2011 en 2013 Deltares-rapporten en ook niet met eerdere MOVE (van Eck & Holzhauer, 2007) en MER rapporten (o.a. Cleveringa, 2007).

In de versie 2013 V3 is sprake van:

- Sublitoraal: geen onderscheid ondiep en diep water

- Binnen het sublitoraal onderscheid naar hoog- en laagdynamisch;
- Geen onderscheid tussen slik en plaat.

Hieronder worden deze verschillen beknopt toegelicht.

*Sublitoraal: wel onderscheid laag- en hoogdynamisch, geen onderscheid ondiep en diep water*

Het onderscheid naar hoog- en laagdynamisch in het sublitoraal is gebaseerd op de monitoring en de verschillende data-analyses rond de Plaat van Walsoorden (Plancke e.a., 2009, Ysebaert e.a., 2009 van der Wal e.a. 2010a en b). Dit onderzoek heeft uitgewezen dat verschillen in de maximale stroomsnelheden en de duur waarmee bepaalde grenswaarden in de stroomsnelheden werden overschreden een veel duidelijker relatie vertoonden met de ecologische rijkdom ter plaatse dan de waterdiepte. In het sublitoraal zijn de maximale stroomsnelheden berekend met een numeriek model van de waterbeweging. Gebieden met maximale stroomsnelheden boven een bepaalde maximale stroomsnelheid zijn geclassificeerd als hoogdynamisch.

*Droogvallende delen, geen plaat en slik*

Er is geen onderscheid meer naar slik (langs de oevers) en plaat (omsloten door geulen). Dit voorkomt discussie over gebieden (Plaat van Baarland, Plaat van Valkenisse) waar platen in de loop van de beschouwde periode van 1996-2012 met de oever zijn verheeld. Deze platen werden in 1996 nog geheel door geulen omsloten, maar zijn tegenwoordig met droogvallende delen met het slik verbonden. Deze rapportage beschouwt het litoraal en supralitoraal, oftewel de droogvallende delen. Slik en plaat worden daarbij samen genomen.

## 1.5 GEBRUIKTE GEGEVENS

Voor de analyses is gebruik gemaakt van de GIS-bestanden van de V3 (december 2013) ecotopenkaarten. Ook is gebruik gemaakt van de bijbehorende versies van de geomorfologische kaarten, de kaarten van de droogvalpercentages en de kaarten van de maximale stroomsnelheden.

Voor een eenduidige beschrijving en analyse van de ontwikkelingen is steeds hetzelfde gebied uit de kaarten gehaald. Het totale areaal van de oorspronkelijke V3 ecotopenkaarten is niet voor alle jaren hetzelfde, omdat in de ecotopenkaarten vanaf 2008 ook een stukje van de Zeeschelde opgenomen is.

De ecotopenarealen uit het gebied dat voor deze studie is gehanteerd, zijn opgenomen in tabel 1 in bijlage 1. De ecotopenkaarten zijn opgenomen in figuur 37 tot en met figuur 43 in bijlage 2.



# 2

## Trends en ontwikkelingen

### 2.1 INLEIDING

In de opeenvolgende Ecotopenkaarten zijn een aantal trends en ontwikkelingen waarneembaar, die onderling samenhangen en die passen bij de morfologische veranderingen en veranderingen in waterstanden die in de Westerschelde plaatsvinden:

1. Uitwisseling areaal droogvallende delen (plaat, slik en schor) met areaal geulen;
2. Toename laagdynamisch delen in de geulen (sublitoraal);
3. Toename areaal schor
4. Afname areaal natuurlijk hard substraat, gevolgd door geleidelijke toename.
5. Toename laagdynamische delen en afname hoogdynamische delen op de droogvallende delen (litoraal).

In de volgende paragrafen worden deze ontwikkelingen toegelicht.

### 2.2 UITWISSELING AREAAL DROOGVALLENDE DELEN MET AREAAL GEULEN

Figuur 2 is een grafiek waarin het areaalverschil<sup>3</sup> van de altijd natte delen (de geulen, het sublitoraal) is uitgezet, evenals het areaal van de droogvallende delen (plaat, slik, schor en de overige klassen). Samen omvatten de klassen in de grafiek het totale areaal van de Westerschelde, vandaar dat de grafiek van de natte delen het spiegelbeeld is van de droogvallende delen: Wat er aan natte delen bij komt gaat van de droge delen af, en omgekeerd.

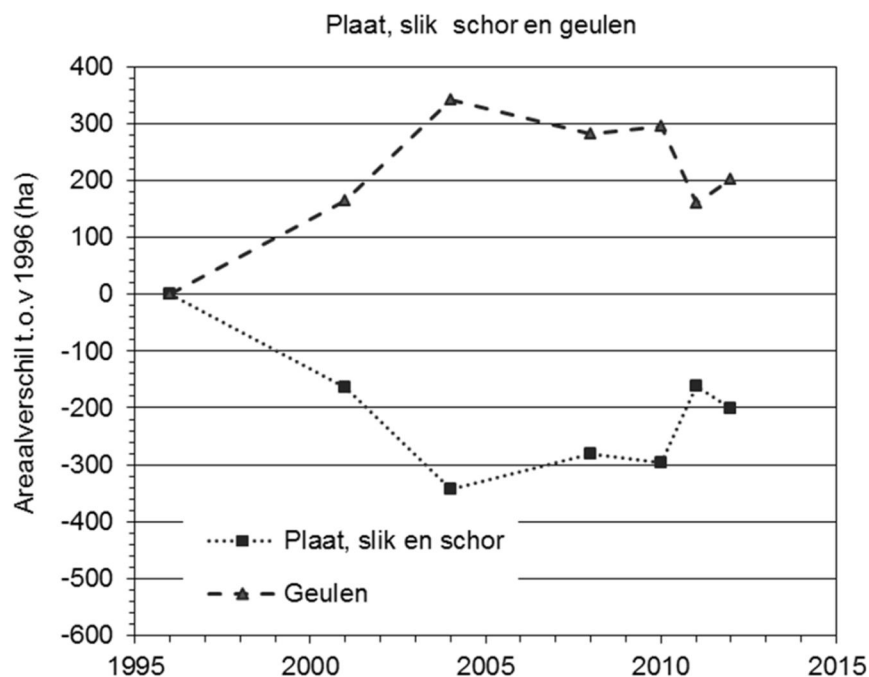
Veranderingen in de arealen nat en droogvallend ontstaan enerzijds doordat er morfologische veranderingen optreden en anderzijds doordat het niveau van laagwater verandert. Vergelijking van de ontwikkeling van de arealen bij 0% en bij 100% droogvallen met de veranderingen in de niveaus van laag-hoogwater laten zien dat deze vrijwel gelijk op gaan (Cleveringa, 2014). De veranderingen in de waterstanden zijn in deze periode voornamelijk gekoppeld aan de 18,6 jarige cyclus, met een kleine bijdrage van de structurele toename van de hoogwaterstanden en de afname van de laagwaterstanden.

De morfologische bijdrage aan de areaalontwikkeling kan worden beschouwd door naar de bodemligging te kijken. In figuur 3 staat de ontwikkeling van het areaal onder NAP – 2 m. Die ontwikkeling van het areaal gaat min of meer gelijk op met de verandering van het areaal geulen (sublitoraal) in figuur 2. In de grafiek in figuur 3 staat ook het vierjaargemiddelde<sup>4</sup> niveau van laagwater in Terneuzen. De ontwikkeling

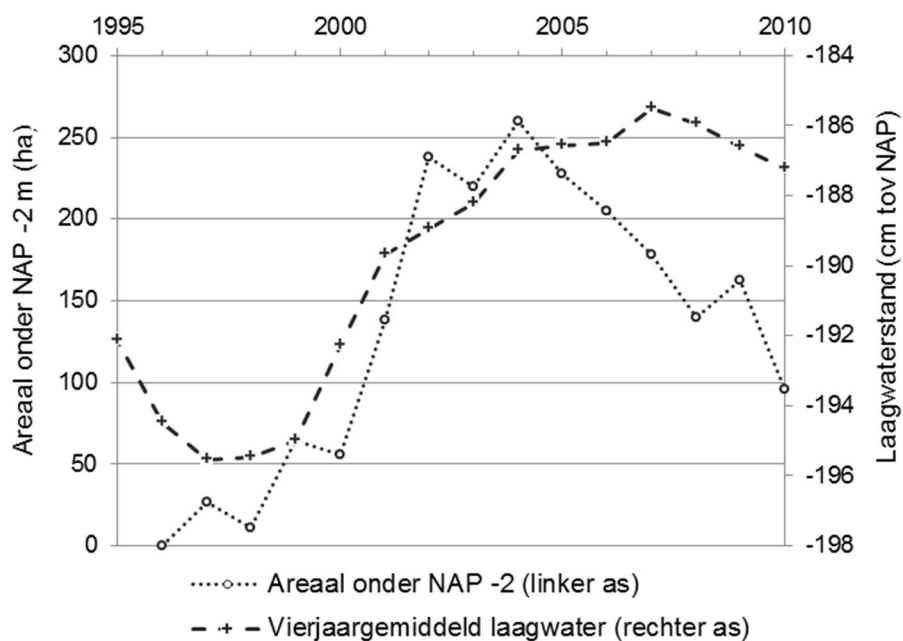
<sup>3</sup> Het areaalverschil ten opzichte van de eerste kaart uit de serie (1996) is gebruikt omdat dan de y-as vergelijk is voor de weergegeven klassen. Bij een grafiek met de absolute arealen zijn de verschillen tussen de klassen groot en vallen de relatief kleine veranderingen weg bij de grote arealen..

<sup>4</sup> Het vierjaargemiddelde (en niet het jaargemiddelde) is getoond omdat deze waarden worden gebruikt bij het vervaardigen van de ecotopenkaarten.

daarvan komt beter overeen met de ontwikkeling van het areaal geulen in figuur 2. De veranderingen in de waterstand domineren de ontwikkelingen in de arealen van de ecotopenkaarten.



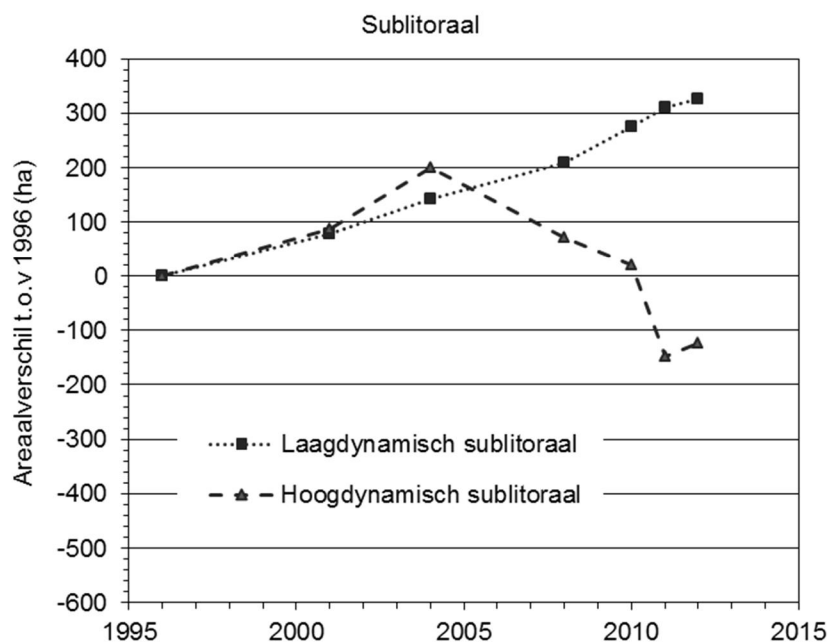
Figuur 2 Grafiek uit de ecotopenkaarten met het areaalverschil t.o.v. 1996 onder het niveau van laagwater (geulen, sublitoraal) en het areaal boven dat niveau (de optelsom van de droogvallende delen plaat, slik en schor).



Figuur 3 Grafiek op basis van de bodemkaarten (Zandbalans Rijkswaterstaat) met het areaalverschil t.o.v. 1996 onder NAP -2m en het vierjaargemiddelde niveau van laagwater in Terneuzen.

### 2.3 TOENAME LAAGDYNAMISCH DELEN IN DE GEULEN (SUBLITORAAL)

Figuur 4 laat de trend zien in het laagdynamische areaal in het sublitoraal: dat vertoont een gestage toename met gemiddeld 20,6 ha per jaar. Het totale areaal laagdynamisch in het sublitoraal is een zeer klein deel van het sublitoraal en dat komt overeen met de bevindingen van Ysebaert, 2009. De ontwikkeling van het hoogdynamische sublitoraal vertoont toe en afnames, die overeenkomen met de veranderingen in het totale sublitorale areaal (zie de ontwikkeling daarvan in figuur 2).



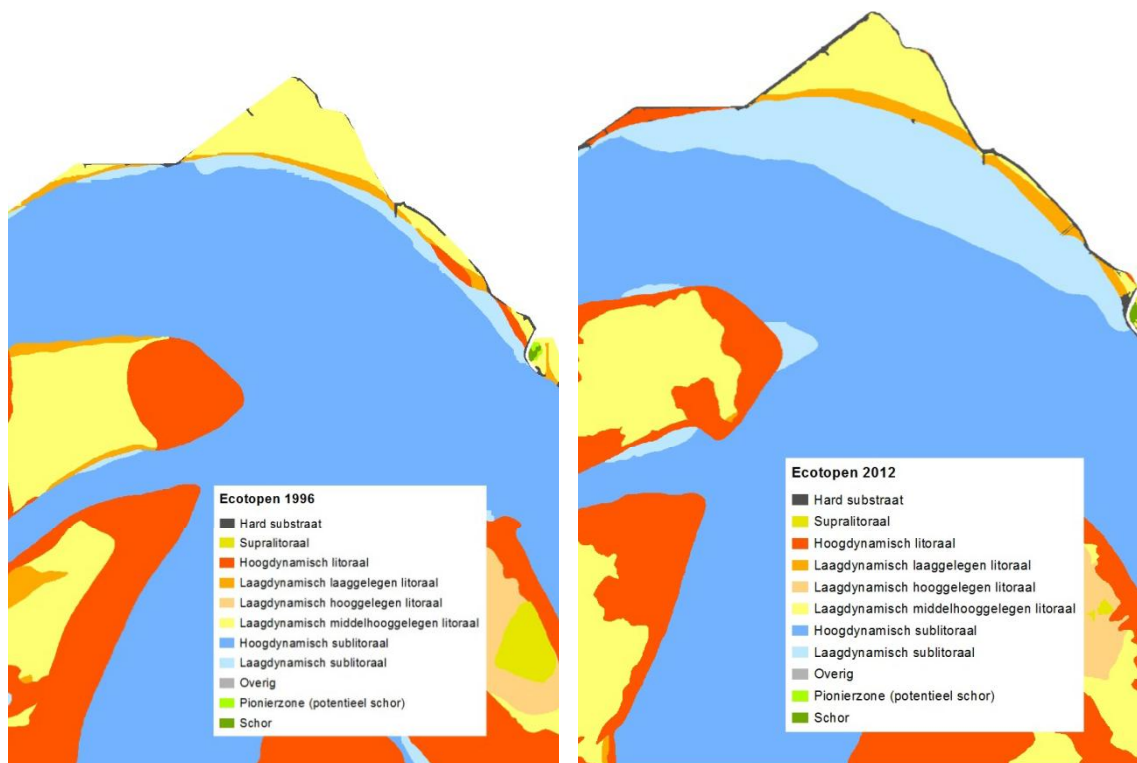
Figuur 4 Grafiek met het areaalverschil t.o.v. 1996 van het laag- en het hoogdynamische areaal onder het niveau van laagwater (geulen, sublitoraal).

De toename van het areaal laagdynamisch in het sublitoraal vindt op enkele plekken in de Westerschelde plaats, namelijk rond de Hoge en Lage Springer (ten zuidoosten van de Hoge Platen) en aan de noordzijde van de Molenplaat, op de noordelijke drempel van het Middelgat (figuur 5). In deze gebieden zijn de maximale stroomsnelheden afgenomen tot onder de kritische grens die voor het laagdynamische areaal wordt gehanteerd. De stroomsnelheden zijn berekend met numerieke modelsimulaties van de waterbeweging. De verklaring voor de afname van de maximale stroomsnelheden is de geleidelijke verondieping die in deze gebieden plaatsvindt. Die lokale morfologische ontwikkelingen vinden plaats in samenhang met grootschalige morfologische veranderingen: 1. De afname van de omvang van de Geul onder Hoofdplaat (de ontwikkeling die is beschreven als de doorgaande sedimentatie in Mesocel 2 (LTV V&T rapport K-18 Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, 2013); 2. De afname van de omvang van het Middelgat (die samenhangt met de switch van hoofd naar nevengeul, (LTV V&T rapport K-18, Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, 2013).

Het hanteren van het criterium maximale stroomsnelheid in combinatie met de numerieke model simulaties zoals die tegenwoordig worden uitgevoerd, betekent dat een beperkt aantal gebieden als laagdynamisch sublitoraal wordt geclassificeerd en dat het totale areaal van het laagdynamisch sublitoraal klein is in verhouding tot het hoogdynamische sublitoraal.

In eerdere studies zijn hogere ecologische waarden toegedicht aan andere gebieden in het sublitoraal, zoals de ondiepe kortsluitgeulen tussen platen en de (eb- en vloed) schaatjes die de platen insteken. De maximale stroomsnelheden die in de modelsimulaties in deze gebieden optreden zijn echter hoog.

Hierdoor voldoen deze ondiepe kortsluitgeulen en (eb- en vloed) schartjes grotendeels niet aan het huidige criterium voor laagdynamisch sublitoraal. De afname van het aantal en de omvang van de kortsluitgeulen in de Westerschelde vertaalt zich dan ook niet mee in de ontwikkeling van het laagdynamisch sublitoraal.



Figuur 5 Ecotopenkaarten van de omgeving van de Molenplaat, de Overloop van Hansweert en de Put van Hansweert in 1996 (links) en 2012 (rechts).

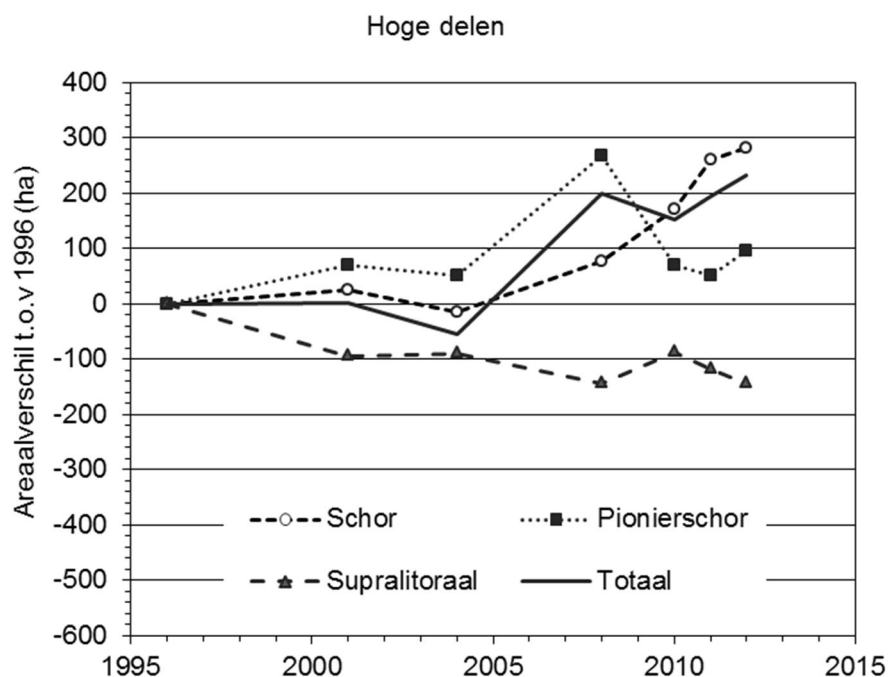
## 2.4 TOENAME AREAAL SCHOR

Figuur 6 is een grafiek waarin de ontwikkelingen van de drie 'hoge' ecotopenklassen zijn weergegeven, namelijk het supralitoraal, het pionierschor en het schor. Het supralitoraal omvat de hoge delen van de platen en slikken die niet bij iedere vloed onderstromen. Pionierschor betreft de hogere delen van plaat en slik waar pioniervegetatie is gevestigd, zoals Zeekraal (*Salicornia spec.*) en Engels slijkgras (*Spartina anglica*). Schorren zijn de hoogste delen van de Westerschelde, waar dichte (kwelder)vegetatie aanwezig is. In de Westerschelde heeft in de periode na 2004 een sterke toename plaatsgevonden van het begroeide areaal (pionierschor en schor) op de Hoge Platen en de op de Plaat van Walsoorden. Eerder werd op de platen vrijwel geen vegetatie aangetroffen, met als uitzondering het hoge westelijke deel van de Hoge Platen. In de grafiek is deze ontwikkeling zichtbaar in de sterke toename van het areaal pionierschor van 2004 naar 2008, gevolgd door de meer geleidelijke toename van schor van 2004 tot en met 2012. De sterke afname van het areaal pionierschor na 2008 is ook gekoppeld aan de vegetatie ontwikkeling: van pionierschor tot schor. In de kaarten in figuur 7 is deze ontwikkeling zichtbaar voor de oostzijde van de Hoge Platen.

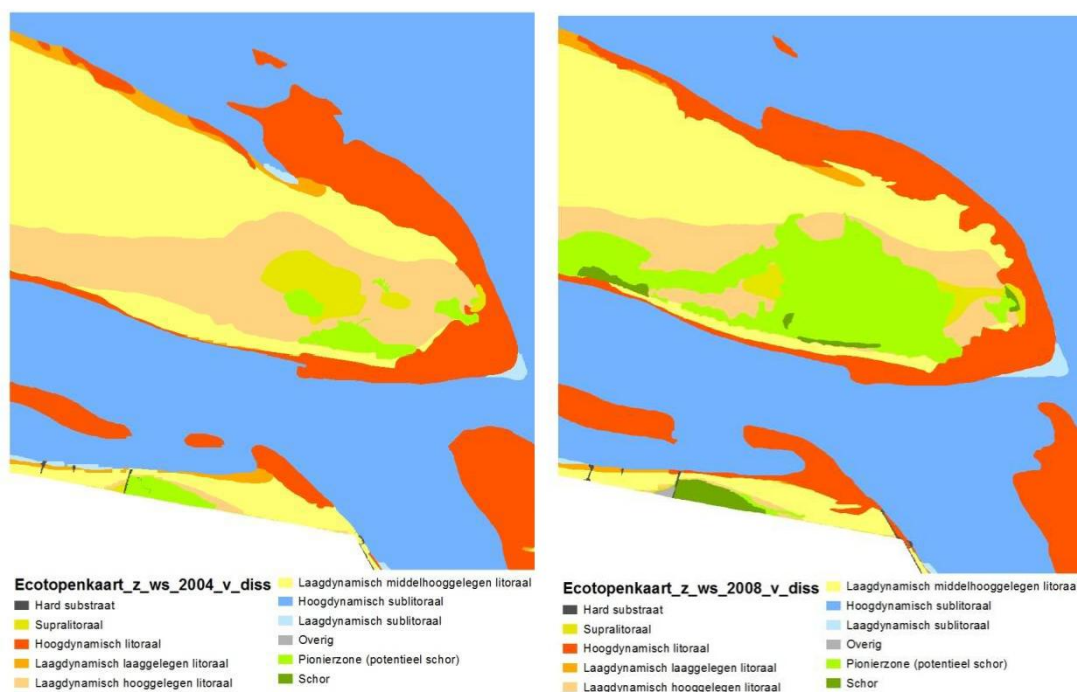
Het supralitoraal is afgenomen, maar lang niet zo sterk als de toename van het areaal pionierschor en schor. Een belangrijk deel van de schorvegetatie heeft zich op de laagdynamische delen van het litoraal gevestigd. In de kaarten in figuur 7 is dit duidelijk zichtbaar.

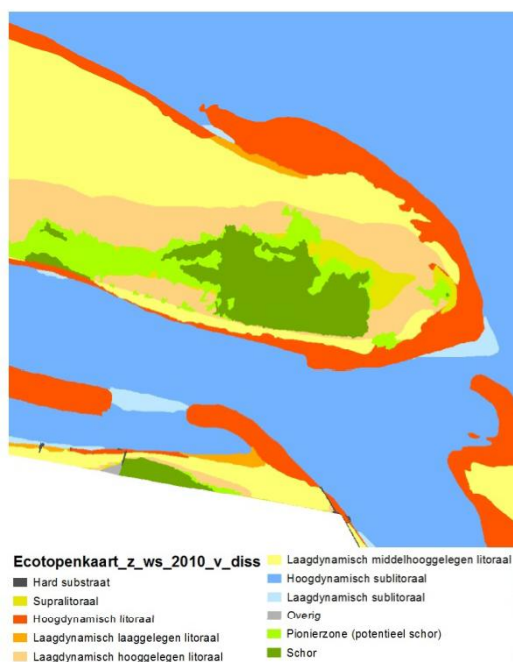
De vestiging en ontwikkeling van de vegetatie op de platen lijkt een blijvende verandering te zijn. De aanwezigheid van de kweldervegetatie heeft een zelfversterkend karakter. Daarmee zal naar verwachting

ook de afname van het areaal supralitoraal en het laagdynamisch litoraal voor een belangrijk deel blijvend zijn.



Figuur 6 Grafiek met het areaalverschil t.o.v. 1996 van de hogere delen: supralitoraal, pionierschor en schor.



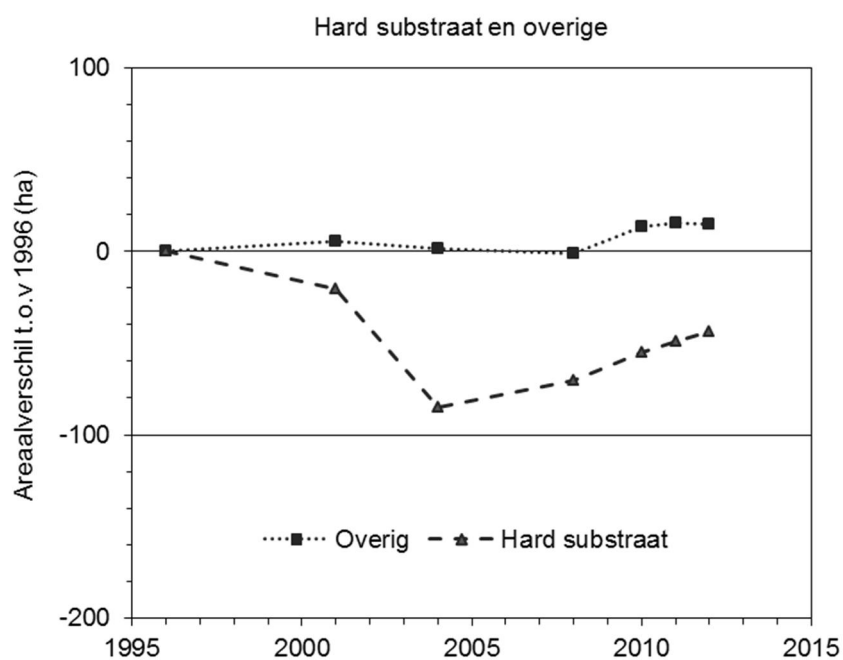


Figuur 7 Drie ecotopenkaarten van de oostzijde van Hooge Platen waar zichtbaar is dat van 2004 naar 2008 het areaal pionierschor is toegenomen, gevolgd door een toename van het areaal schor van 2008 naar 2010.

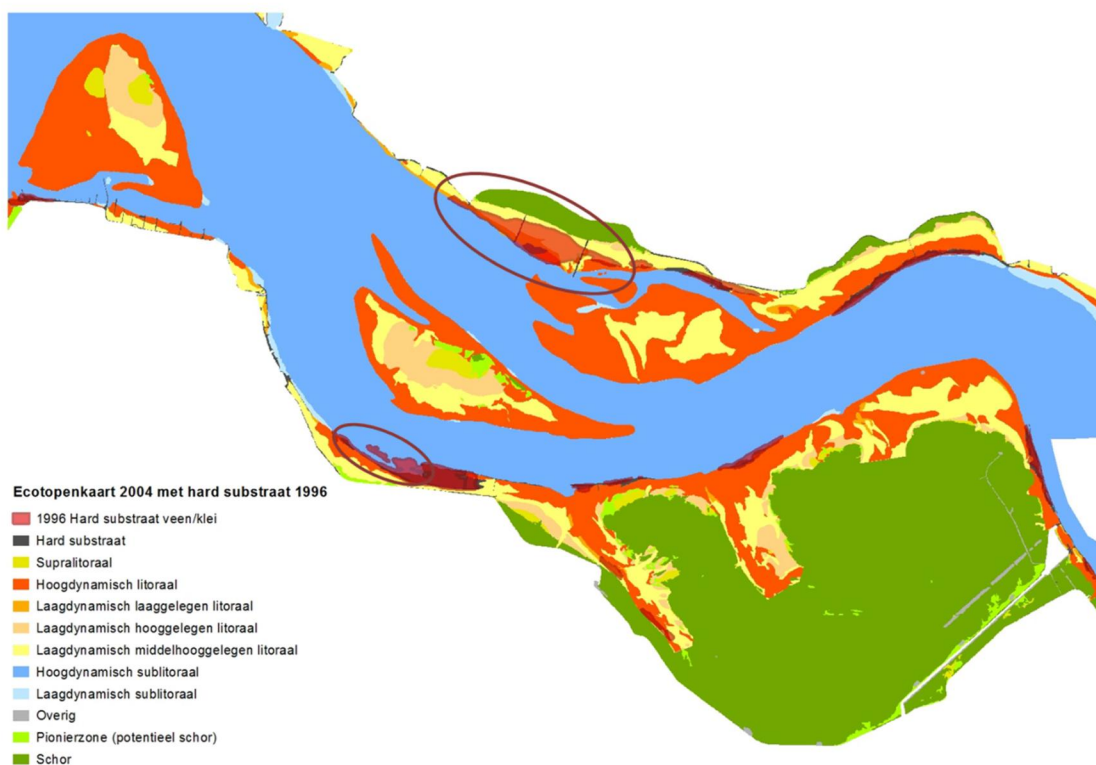
De schorren langs de oevers van de Westerschelde en het pionierschor op de slikken maken ook ontwikkeling door, maar die ontwikkelingen zijn relatief klein ten opzichte van de grote veranderingen op de platen. Het betreft bijvoorbeeld de achteruitgang van de schorranden. In de grafiek met de ontwikkelingen in figuur 6 vallen deze ontwikkelingen dan ook weg.

## 2.5 AFNAME AREAAL NATUURLIJK HARDSUBSTRAAT, GEVOLGD DOOR GELEIDELIJKE TOENAME

De ontwikkelingen in het hard substraat en in de overige categorieën is weergegeven in figuur 8. Bij de categorie 'Overige' vinden geen belangrijke veranderingen plaats en daarom wordt deze verder buiten beschouwing gehouden. Bij het hard substraat valt de grote sprong op, van 2001 naar 2004. De afname van het hard substraat van bijna 80 ha heeft plaatsgevonden in een beperkt aantal gebieden. Hiervan zijn de Slikken bij Waarde het belangrijkste (de bovenste ellips in figuur 9). In dit gebied zijn twee lange dammen aangelegd, om de archeologische resten die daar onder het slik aanwezig zijn te beschermen tegen verdere erosie. Na de aanleg van de dammen heeft sedimentatie plaatsgevonden en is het natuurlijke hard substraat bedekt met sediment. Hierdoor is het areaal laagdynamisch litoraal toegenomen. Na de sprong van 2001 naar 2004 vindt een geleidelijke toename van het hard substraat plaats. Deze toename is een bekende ontwikkeling, die optreedt omdat voornamelijk in het oosten van de Westerschelde natuurlijk hard substraat wordt 'blootgespoeld' (zie bijvoorbeeld voor een beschrijving en analyse van de ontwikkelingen nabij Bath, Sinke, 2011).



Figuur 8 Grafiek met het areaalverschil t.o.v. 1996 van het hard substraat en de overige delen.



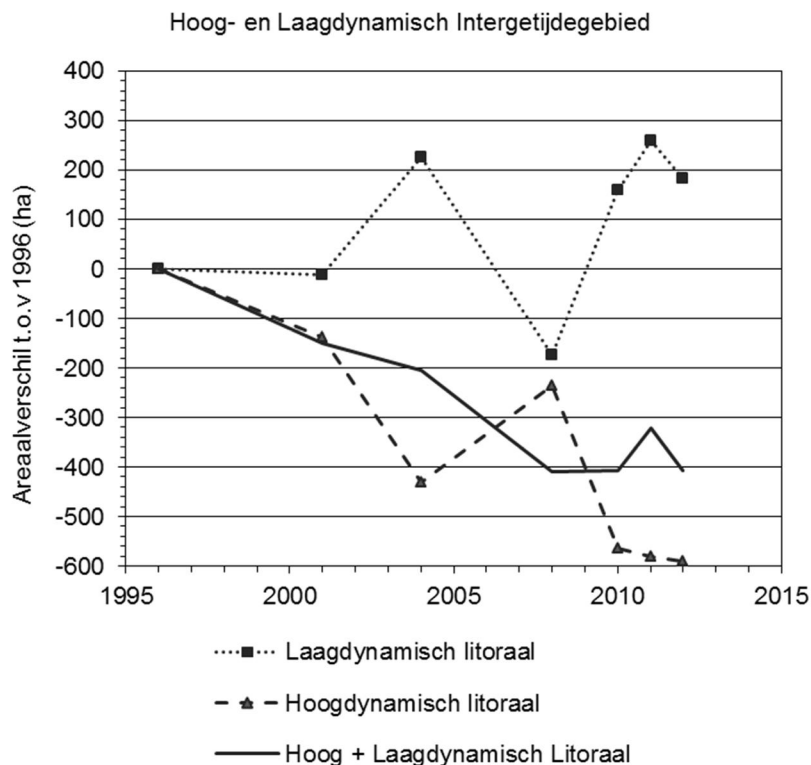
Figuur 9 Ecotopenkaart van 2004 van de oostelijke Westerschelde, met daarover de gebieden die in 1996 tot het natuurlijke hard substraat behoorden.



## 2.6

## TOENAME LAAGDYNAMISCHE DELEN EN AFNAME HOOGDYNAMISCHE DELEN OP DE DROOGVALLENDE DELEN (LITORAAL)

De grafiek in figuur 10 laat de veranderingen in het hoog- en laagdynamische litorale areaal zien. Het totaal van beiden laat een afname zien tot 2008, gevolgd door een stabilisatie met een klein sprongetje. Deze lijn van het totaal vertoont een duidelijke overeenkomst met de grafiek waarin het totale litorale areaal staat (figuur 2). De afname van het totaal van het hoog- en laagdynamische areaal van ruim 400 ha is groter dan de afname van de droogvallende delen van 300 ha. Dat heeft te maken met de omzetting van hoog- en laagdynamische litoraal areaal naar schor.



Figuur 10 Grafiek met veranderingen in het hoog- en laagdynamische litorale areaal.

De overall toename van het laagdynamische areaal lijkt tegengesteld aan de overall afname van het hoogdynamische areaal. Wel is de afname van het hoogdynamische areaal tweemaal groter dan de toename in het laagdynamisch areaal. Ook vallen de grote tegengestelde sprongen op. In de voorgaande paragrafen zijn een aantal ontwikkelingen beschreven die het areaal laagdynamisch litoraal beïnvloeden. Die ontwikkelingen worden hier ook aangehaald, omdat deze een deel van de ontwikkelingen verklaren.

De toename met ruim 200 ha van het laagdynamische litoraal areaal van 2001 naar 2004 bestaat uit een overgang van hoogdynamisch naar laagdynamisch die overall in de Westerschelde heeft plaatsgevonden en de overgang van hard substraat naar laagdynamisch litoraal, die onder andere bij Waarde is opgetreden (paragraaf 2.5).

De afname van het laagdynamische areaal met ongeveer 450 ha van 2004 naar 2008 bestaat uit veranderingen ten voordele van het hoogdynamisch litoraal van ongeveer 150 ha en de ontwikkeling van (pionier)schor op de Hooie Platen en de Plaat van Walsoorden van ruim 300 ha.

Van 2008 naar 2010 vindt een toename van het laagdynamisch areaal plaats van bijna 400 ha. Deze toename is deels ten koste gegaan van het hoogdynamisch litoraal (ongeveer 275 ha) en deels ten koste van schor (waarvan de afname ongeveer 100 ha bedraagt).



Van de ontwikkelingen in de ecotopenkaarten is de uitwisselingen tussen hoog- en laagdynamisch litoraal het meest complex, met grote pieken en dalen die de interpretatie lastig maken. In de volgende hoofdstukken wordt daarom stilgestaan bij de bandbreedte in de ontwikkelingen en de veranderingen in de aan het litoraal onderliggende geomorfologische kaarten.

## 3

## Bandbreedte

## 3.1 INLEIDING

In het vorige hoofdstuk is duidelijk geworden dat sprongen aanwezig zijn in de arealen hoog- en laagdynamisch op de droogvallende delen (litoraal). Dit hoofdstuk gaat over de bandbreedte die rond de arealen hoog- en laagdynamisch litoraal areaal kan worden verwacht. Deze bandbreedte bestaat uit natuurlijke fluctuaties en uit de waarnemingsbias (verschillen in de luchtfoto's, interpretatieverschillen). Kennis van de bandbreedte rond de arealen hoog- en laagdynamisch is belangrijk om de waargenomen ontwikkelingen op waarde te kunnen schatten. Uitspraken over trends of een trendbreuk zijn alleen mogelijk met kennis van de bandbreedte.

## 3.2 GEOMORFOLOGISCHE KAARTEN

De basis voor de ecotopenkaarten in het litoraal zijn de geomorfologische kaarten. Deze kaarten worden vervaardigd op basis van false-colour luchtfoto's. Op basis van een aantal regels over de textuur, kleur en de omgeving worden de drooggevallen platen, slikken en schorren ingedeeld in een geomorfologische klasse. Deze regels en de wijze waarop de geomorfologische kaarten tot stand komt staat beschreven in de Jong en Reitsma (2011) en de Jong (2012).

De geomorfologische kaarten kennen meer klassen dan de ecotopenkaarten. Hoogdynamische ecotopen kunnen in de geomorfologische kaarten bijvoorbeeld vlak of golvend zijn, of hebben megaribbels. Ook de laagdynamische ecotopen worden gevormd door verschillende geomorfologische klassen, deze zijn vlak<sup>5</sup> of golvend. Overigens worden in de geomorfologische kaarten de begrippen hoog- en laagenergetisch gehanteerd, daar waar in de ecotopenkaarten sprake is van hoog- en laagdynamisch. Het onderscheid dat in de geomorfologische kaarten binnen de hoogenergetische klassen wordt gemaakt blijkt nuttig te zijn bij het bepalen van bandbreedtes.

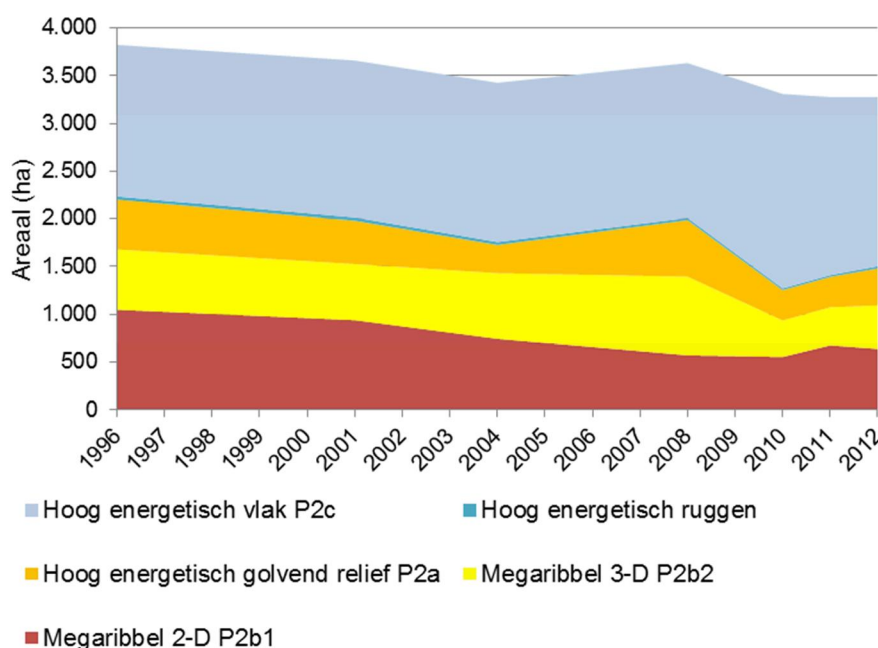
Het onderscheiden van de verschillende geomorfologische klassen op basis van de false colour luchtfoto's is voor sommige klassen eenvoudig en zonder discussie. Dat geldt bijvoorbeeld voor het herkennen van megaribbels en de aanwezigheid van vegetatie. Voor andere geomorfologische klassen is het onderscheid lastiger en moeten soms arbitraire keuzes worden gemaakt. De ontwikkelingen van de goed herkenbare geomorfologische klassen worden gebruikt om af te leiden wat voor natuurlijke fluctuaties optreden in de arealen. Van deze veranderingen mag worden aangenomen dat ze daadwerkelijk hebben plaatsgevonden en niet door waarnemingsbias zijn beïnvloed.

<sup>5</sup> Vlak betekent niet dat in het geheel geen bodemvormen aanwezig zijn, er kunnen kleine stroom- en golfribbeltjes aanwezig zijn (hoogte van centimeters en golflengte tot decimeters). Deze kleine ribbeltjes die in het laagdynamisch litoraal aanwezig kunnen zijn, zijn te klein om op de luchtfoto's te onderscheiden en daarom wordt het "vlak" genoemd.

### 3.3 HOOGDYNAMISCH AREAAL

In de grafiek in figuur 11 zijn alle hoogenergetische geomorfologische klassen opgenomen die samen het hoogdynamisch ecotopenareaal vormen. Drie ontwikkelingen worden hier nader besproken :

- Structurele afname 2D&3D megaribbels;
- Toename hoog energetisch vlak reliëf;
- Toename hoog energetisch gegolfd reliëf.



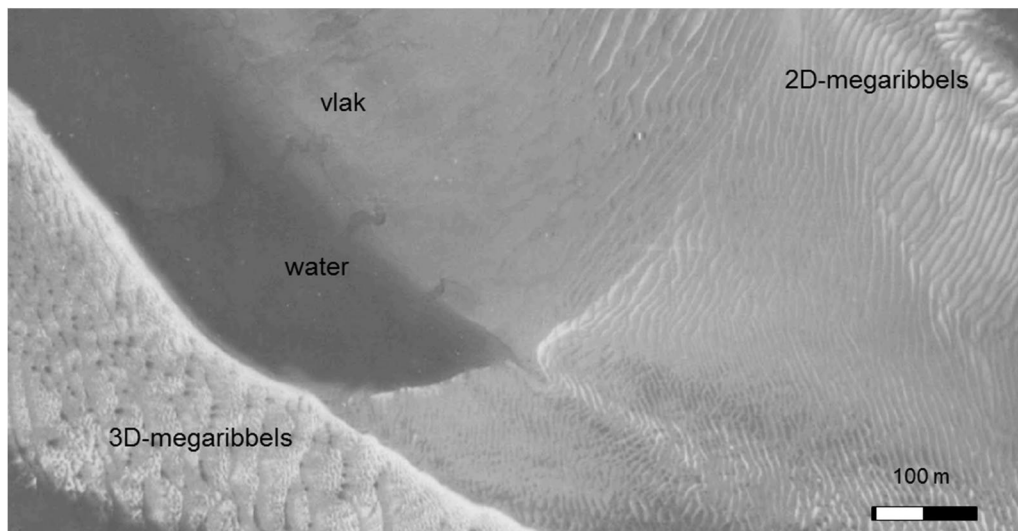
Figuur 11 Grafiek met de verschillende geomorfologische klassen die samen het areaal hoogdynamisch in het litoraal vormen (de verschillende klassen voor de 'ruggen' zijn gecombineerd de klassen voor de krekken zijn samengevoegd met die voor plaat en slik).

#### 3.3.1 MEGARIBBELS IN HET HOOGDYNAMISCHE AREAAL

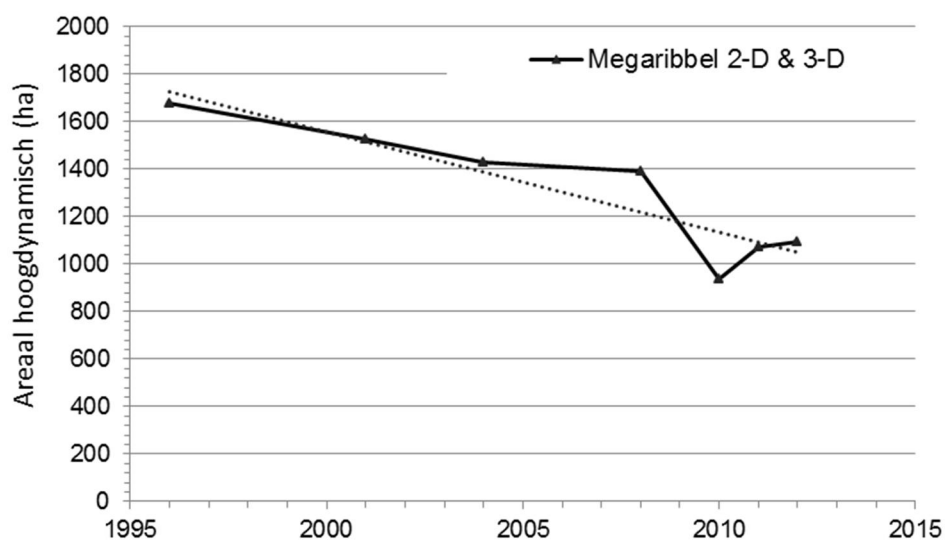
In figuur 12 is in een detail van een luchtfoto zichtbaar hoe de megaribbels zich manifesteren. De min of meer parallelle lichte en donkere banen in het rechter bovendeele van de foto zijn 2D-megaribbels. De lichte banen ontstaan doordat de hoge toppen van de megaribbels meer uitdrogen dan de lage delen, waardoor deze delen lichter kleuren. Het complexe patroon van lichte en donkere banen in het linker onderdeel bestaat uit 3D-megaribbels (als in nog meer detail wordt gekeken blijkt het zelfs om een gecombineerd patroon van grotere en kleinere megaribbels te gaan). Het vlakke gebied heeft een egaal grijze kleur. Het water is egaal donker grijs.

In de grafiek in figuur 11 is zichtbaar dat het areaal met megaribbels (2D en 3D) is afgenomen van 1996 tot 2012. Alleen van 2010 naar 2011 is sprake van een kleine toename van het areaal met megaribbels. Deze ontwikkeling is niet beïnvloed door interpretatieverschillen: de aan- of afwezigheid van ribbels is zeer duidelijk zichtbaar in de luchtfoto's. Figuur 13 laat in een grafiek de ontwikkeling van het areaal met megaribbels zien met de lineaire trend. De trendmatige afname bedraagt 42 ha per jaar. De afwijkingen ten opzichte van de trend bedragen ongeveer +/- 200 ha.

Omdat het areaal met megaribbels goed herkenbaar is, lijkt het redelijk om de afwijking van +/- 200 ha te hanteren als de natuurlijke variatie zoals die in ieder geval kan optreden. Gemakshalve wordt aangenomen dat deze afwijkingen maatgevend zijn voor de natuurlijke variatie die optreedt rond de ecotopenarealen.

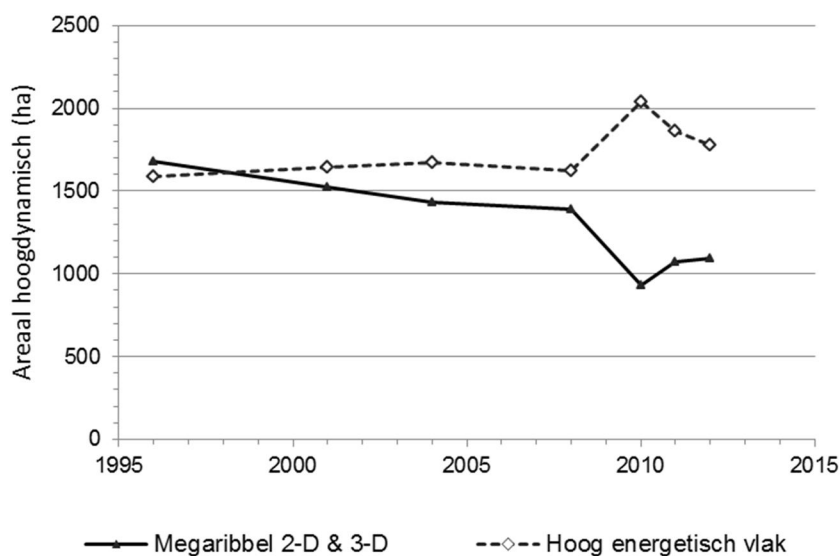


Figuur 12 Detail van een luchtfoto uit 1959 van de Platen van Ossensisse (bron: Geoloket provincie Zeeland).



Figuur 13 Grafiek met het areaal van de gecombineerde geomorfologische klassen met megaribbels.

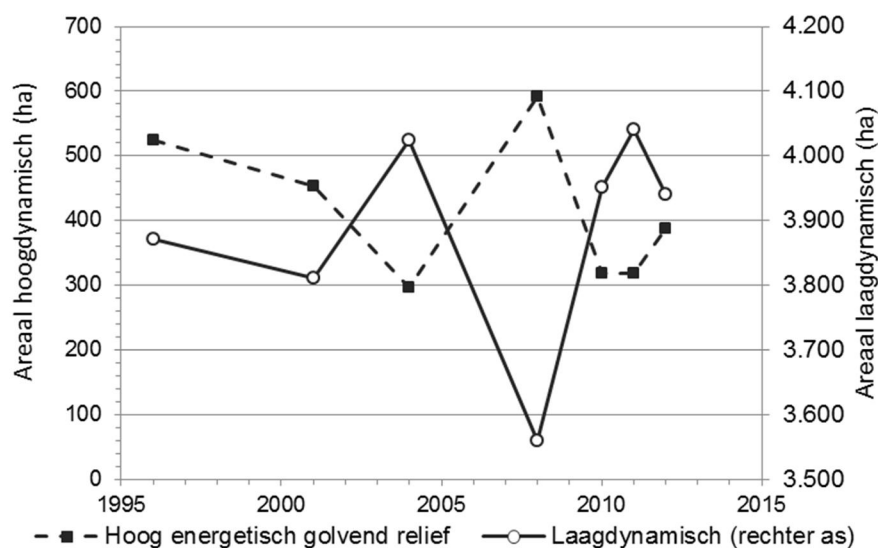
De grote afname van het areaal met megaribbels van 2008 naar 2010 komt ten goede aan het areaal hoogdynamisch vlak, zoals zichtbaar is in de grafiek in figuur 14. En ook de kleinere toename van het areaal met megaribbels van 2010 naar 2011 verloopt tegengesteld aan de ontwikkeling van het hoogdynamisch vlakke areaal. Het waarom van deze uitwisseling tussen megaribbels en vlak areaal is niet duidelijk, hierop wordt verderop in dit rapport ingegaan.



Figuur 14 Grafiek met de arealen van de gecombineerde geomorfologische klassen met megaribbels en die van het hoog energetische vlak.

### 3.3.2 HOOG DYNAMISCH GOLVEND RELIËF

In figuur 15 staat het areaal hoogdynamisch golvend reliëf, dat verschillende sprongen omvat. In de grafiek staat ook het areaal laagdynamisch weergegeven, waarvan het patroon in het areaal sterke overeenkomsten vertoont met dat van het hoogdynamisch golvend reliëf. Iedere afname van het areaal hoogdynamisch golvend reliëf gaat samen met een toename van het areaal laagdynamisch. De uitwisseling tussen deze twee klassen verklaart maximaal 74% van deze fluctuaties.

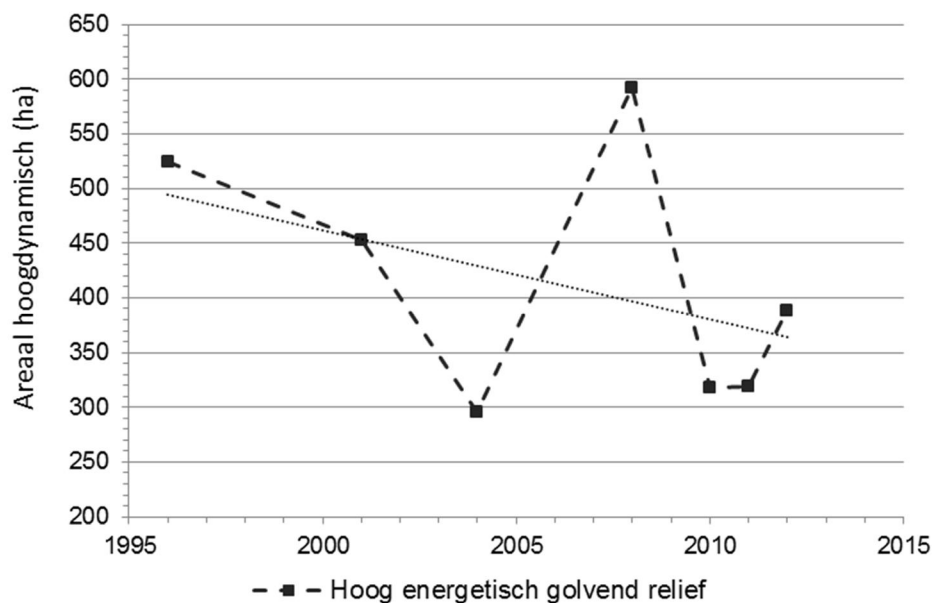


Figuur 15 Grafiek met de arealen van hoog energetische golvend reliëf en de gecombineerde laagdynamische klassen.

Het is niet duidelijk of uitwisseling tussen hoog energetisch met een golvend reliëf en laagdynamisch een werkelijk optredende verandering is (zoals die van megaribbels naar vlak, of omgekeerd), of dat hier sprake is van interpretatieverschillen. Als in detail wordt gekeken naar de overgangen die plaatsvinden in de laagenergetische arealen (bijlage 3, tabel 2) dan is sprake van duidelijke uitschieters in de waarden. De

beschrijving van de karakteristieken van de geomorfologische klassen en voorbeelden van gebieden waar deze overgang in klassen is opgetreden biedt niet voldoende duidelijkheid om te zeggen of de veranderingen echt zijn.

Voorgesteld wordt om de afwijkingen die optreden rond het areaal hoog energetisch golvend reliëf gebied, te gebruiken als een indicator voor de bandbreedte door interpretatieverschillen. Het grootste verschil tussen de lineaire trend en de waarden bedraagt bijna + 200 ha en grootste afwijking naar beneden minder dan -150 ha. Een afwijking van +/- 175 ha rond de waarden voor hoog- en laagdynamisch litoraal door interpretatieverschillen lijkt een redelijke veronderstelling.

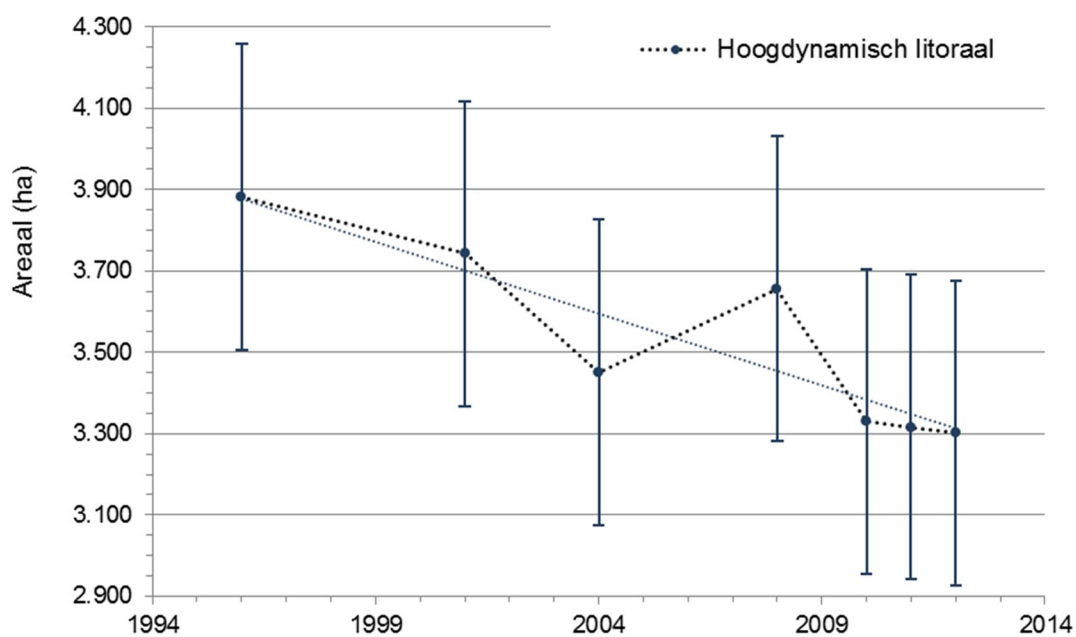


Figuur 16 Grafiek met de arealen van hoog energetische golvend reliëf met lineaire trend.

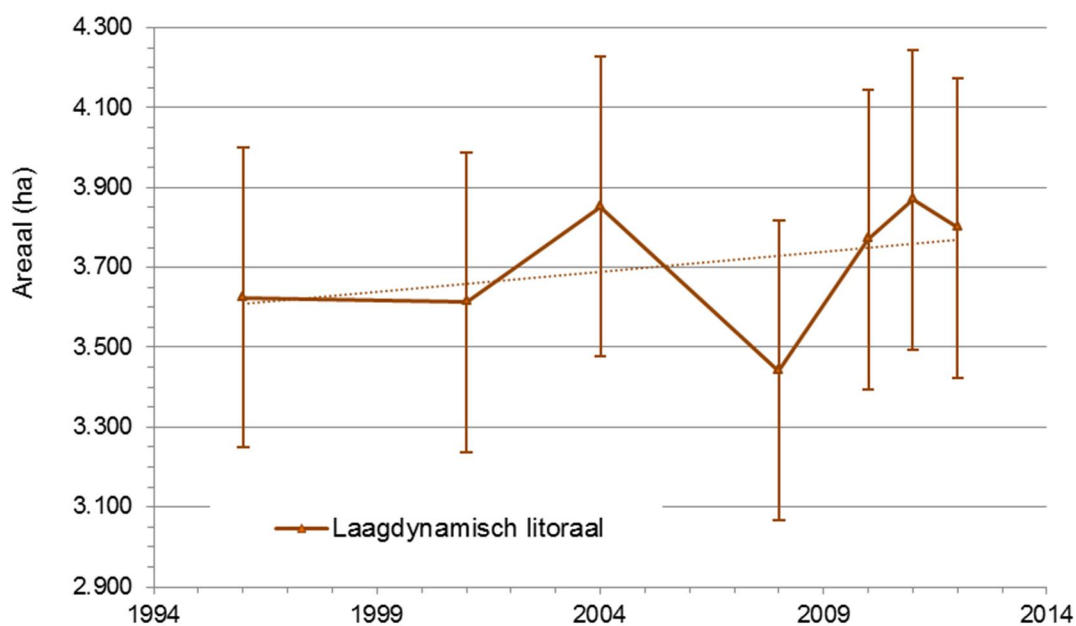
### 3.4 BEGRIP VOOR DE BANDBREEDTE

De voorbeelden uit de voorgaande paragrafen laten zien dat de bandbreedte rond de ecotopen bestaat uit natuurlijke fluctuaties en uit de waarnemingsbias. De natuurlijke fluctuaties worden op basis van de veranderingen in het areaal met megaribbels geschat op +/- 200 ha. De waarnemingsbias wordt op grond van de veranderingen in het areaal met golvend reliëf geschat op +/- 175 ha. Daarmee komt de totale bandbreedte rond het hoog- en laagdynamische litoraal areaal op +/- 375 ha.

Bij het getal van +/- 375 ha zijn allerlei opmerkingen te plaatsen. Het voorbehoud is dat dit getal is bedoeld als een schatting en nadrukkelijk géén waarde is met statistische betekenis. De waargenomen veranderingen in de arealen hoog- en laagdynamisch litoraal moeten in het licht van deze veranderingen worden bekeken om deze op waarde te kunnen schatten. Ter illustratie zijn de ontwikkelingen van de arealen hoog- en laagdynamisch litoraal voorzien van de bandbreedte van 375 ha in respectievelijk figuur 17 en figuur 18. Ten opzichte van de bandbreedte lijkt de afname van het hoogdynamische areaal een duidelijker ontwikkeling dan de in omvang beperktere toename van het laagdynamische areaal.



Figuur 17 Grafiek met het areaal hoogdynamisch littoraal met foutenbalken van +/-375 ha en een lineaire trend.



Figuur 18 Grafiek met het areaal laagdynamisch littoraal met foutenbalken van +/-375 ha en een lineaire trend.

# 4

## Veranderingen in het hoogdynamische areaal

### 4.1 INLEIDING

In de geomorfologische kaarten zijn verschillende ontwikkelingen zichtbaar die aanvullend zijn op de ontwikkelingen in de ecotopen. Binnen de afname van het hoogdynamische areaal vindt een afname van het aandeel met megaribbels plaats. Op de platen in de Westerschelde zijn steeds minder megaribbelvelden aanwezig en is steeds meer vlak areaal.

### 4.2 MEGARIBBELVELDEN

De afname van de megaribbelvelden lijkt al langer bezig te zijn dan de waarnemingsperiode van 1996 tot 2012. Dat blijkt onder andere uit de geomorfologische kaarten uit de voorgaande periode. Deze oudere kaarten niet op dezelfde wijze tot stand zijn gekomen als de nieuwe geomorfologische kaarten en daarom zijn de arealen uit de oudere kaarten niet in dit rapport opgenomen.

Luchtfoto-opnames kunnen illustreren dat de verbreiding van de megaribbelvelden is afgenomen.

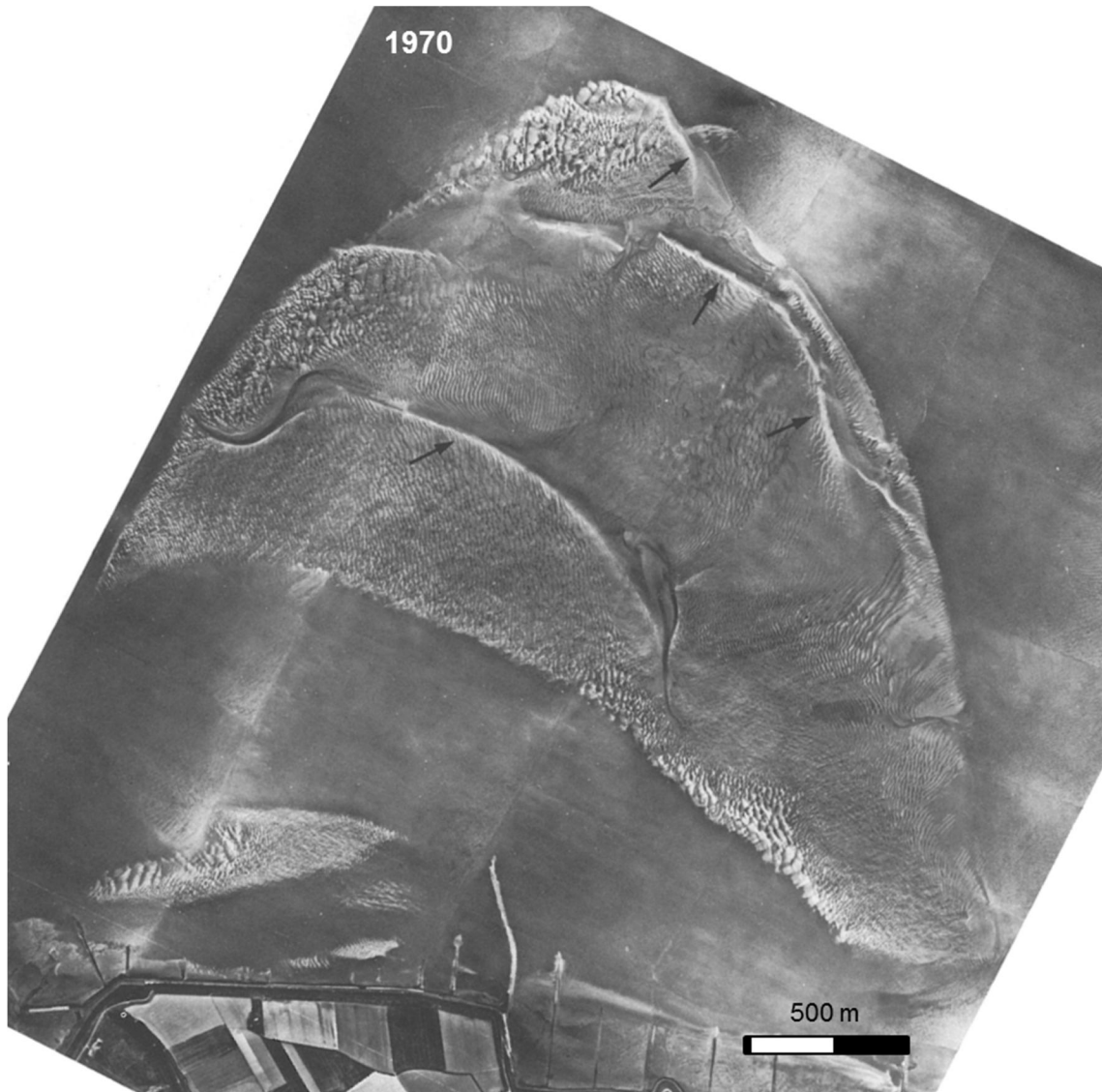
Hiervoor is het Ossensisse platengebied genomen, omdat hiervan in de literatuur (Boersma en Terwindt, 1981 en Kohsiek en Terwindt, 1981) luchtfoto's zijn opgenomen. Figuur 19 is een opname uit 1959 van de platen van Ossensisse, die in die periode nog uit meerdere plaatelementen bestaan. Vrijwel het gehele plaatgebied is bedekt met megaribbels, met uitzondering van het middendeel van het grote plaatelement en enkele lichte randen (dit zijn zandruggen of "berms" uit Boersma en Terwindt, 1981).





Figuur 19 Luchtfoto uit 1959 van de Platen van Ossenis (bron geoloket provincie Zeeland).

De luchtfoto uit 1970 in figuur 20 laat zien dat het overgrote deel van de grote plaat en het gehele kleine plaatje (aan de zuidwestzijde) is bedekt met megaribbels. In het centrale deel van de grote plaat lijkt een klein gebied te zijn zonder megaribbels. De pijlen in deze kaart wijzen naar enkele lichte randen. Dit zijn de zandruggen of "berms" van Boersma en Terwindt (1981).



Figuur 20 Luchtfoto uit 1970 van de Platen van Ossensisse (uit Boersma en Terwindt, 1981).

De luchtfoto uit 2001 laat zien dat de megaribbels beperkt zijn tot een aantal gebieden, die langs de randen van het enkele plaalement liggen (figuur 21).



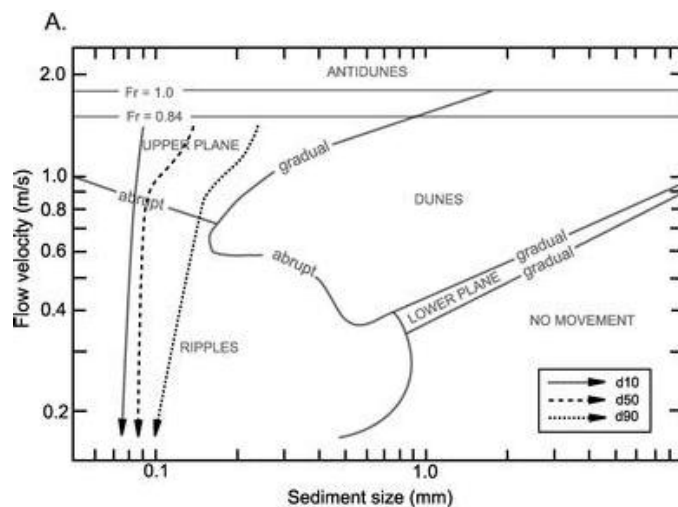
Figuur 21 Luchtfoto uit 2011 van de Platen van Ossensisse (bron Geoloket provincie Zeeland) met in rood de gebieden van de klasse hoogenergetisch megaribbels in de geomorfologische kaart 2011.

Bovenstaande observaties zijn specifiek voor de Platen van Ossensisse. Voor de andere plaatcomplexen geldt dat de verbreiding van megaribbels toen en nu anders is. Zo hebben de HoogePlaten ook in 1959 al veel vlakke gebieden en relatief weinig megaribbelvelden. Wat de plaatgebieden gemeen hebben is dat de verbreiding van megaribbels is afgenomen ten opzichte van 1959.

#### 4.3 WAAROM MEGA RIBBELS OF VLAKKE BODEMS

Hoe moet de afname van het areaal megaribbels en de toename van het areaal met een vlakke bodem worden geduid? Daarvoor moet duidelijk zijn onder welke omstandigheden megaribbels en vlakke bodems worden gevormd. Een hulpmiddel daarbij zijn stabiliteitsdiagrammen (figuur 22; figuur 23),

waarin staat aangegeven welke structuren op de bodem optreden bij verschillende combinaties van korrelgrootte (x-as) en stroomsnelheid dan wel Shields parameter (y-as).



Figuur 22 Voorbeeld van een stabiliteitsdiagram voor structuren op de bodem met stroomsnelheid op de y-as (uit Sumner e.a., 2008)

#### Structuren in stabiliteitsdiagrammen

De genoemde structuren in de stabiliteitsdiagrammen zijn:

- "Ripples", "small ripples" & "current ripples": dit zijn de kleine stroomribbeltjes<sup>6</sup> met een hoogte schaal van cm's en lengte schaal van cm's tot enkele dm's;
- "Mega ripples", "dunes" & "current dunes": grote ribbels met een hoogte schaal van decimeters tot meters en een lengte schaal van meters tot tientallen meters;
- "Upper plane", "u. plane bed", "lower plane" en "horizontal layers": vlakke of golvende bodem.

Het "No movement" in diagram 22 en "No motion" in diagram 23 heeft betrekking op de omstandigheden waarbij alleen sediment zwevend in de waterkolom wordt aangevoerd. "Antidunes" blijft buiten deze beschouwing.

Door uit te gaan van een vaste korrelgrootte, van bijvoorbeeld 0,2 mm (200  $\mu$ m), kun je uit de grafiek in figuur 22 aflezen welke structuren worden aangetroffen bij toenemende stroomsnelheden. Bij een toenemende stroomsnelheid wordt een gebied van small ripples gevolgd door het megaribbel bereik, om bij de hoogste stroomsnelheden in het upper plane" bereik uit te komen.

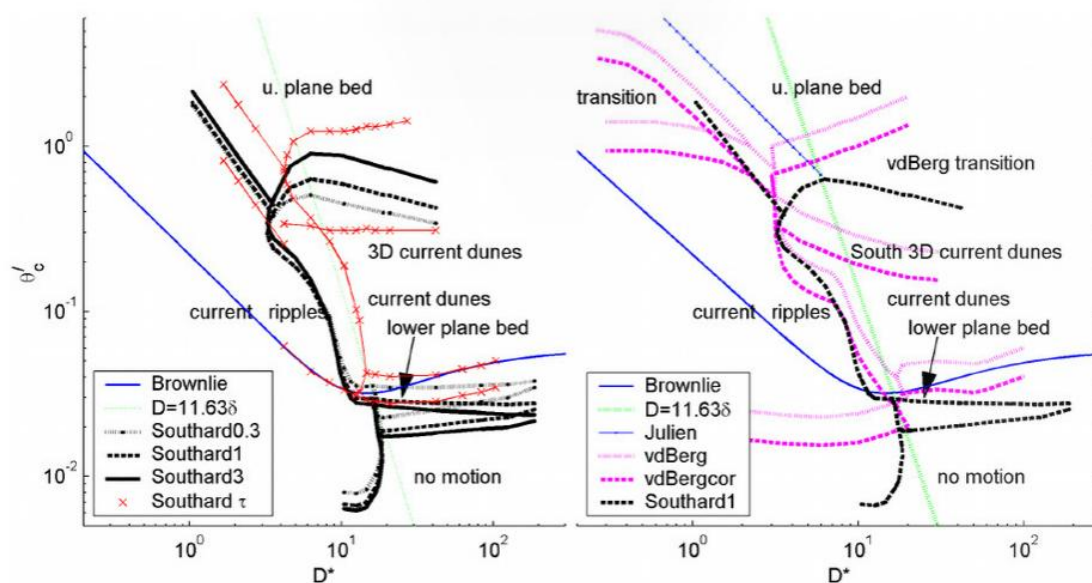
#### Vertaling naar geomorfologische klassen

De terminologie in de stabiliteitsdiagrammen is anders dan de hoog- en laagenergetische klassen uit de geomorfologische kaarten, maar is daar wel naar te vertalen:

<sup>6</sup> Er bestaan ook kleine golfribbeltjes, die een andere geometrie hebben. De combinatie van golfwerking en lage stroomsnelheden kunnen ook combinatievormen opleveren. De liefhebber van kleine ribbels kan de details vinden in handboeken sedimentologie. Voor het onderscheid in de laag- en hoogenergetische klassen is het van minder belang of sprake is van een stroom-, golf-, of gecombineerde ribbel, deze vallen allemaal onder de laag energetische klassen. Voor het begrip van de processen die lokaal de dynamiek van het sediment bepalen kan het wel nuttig zijn om dit onderscheid te maken



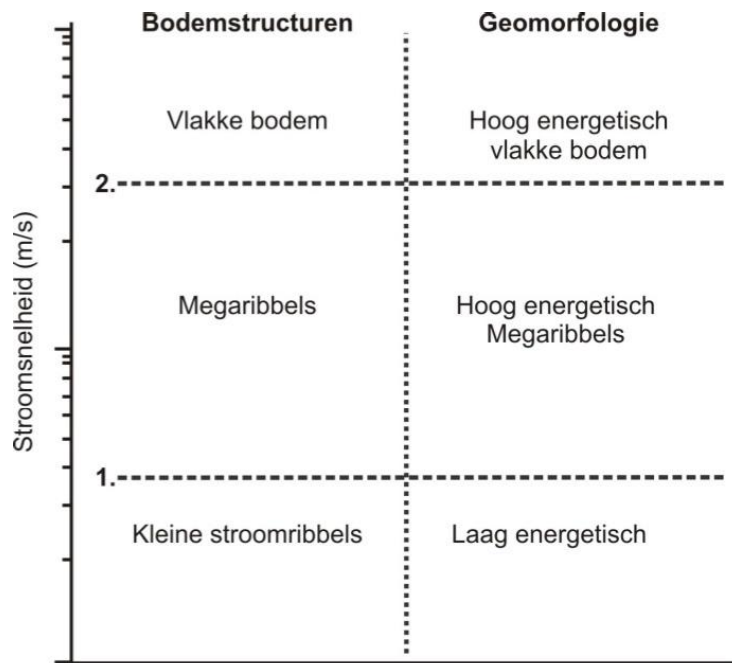
- Laagenergetische geomorfologische klassen bestaan uit de gebieden met kleine ribbeltjes: "ripples" en "current ripples" (die op de schaal van de luchtfoto's niet zichtbaar zijn en dus als vlak worden gekarteerd) en uit de vlakke bodem. De laagenergetische vlakke klassen zijn de "Lower plane" (voluit "lower stage plane bed") uit figuur 22 en de onderste "lower plane bed" uit figuur 23.
- Hoogenergetische klassen met megaribbels komen overeen met de "Mega ripples" en "current dunes".
- Hoogenergetische vlakke klassen komen overeen met de "Upper plane" (voluit "upper stage plane bed") uit figuur 22 en de onderste "u. plane bed" uit figuur 23.



Figuur 23 Voorbeelden van stabiliteitsdiagrammen voor structuren op de bodem met de Shields parameter op de y-as (Kleinhans, 2005a).

Het voorbeeld van de toenemende stroomsnelheden en een vaste korrelgrootte van 0,2 mm (200  $\mu$ m) leest dan als een start in het laagenergetische vlakke bereik, om dan door te gaan naar het hoogenergetische megaribbel bereik, om uit te komen in het hoogenergetische vlakke bereik.

Door dit om te keren is een relatie te leggen tussen de waargenomen geomorfologische klassen en de stroomsnelheden. In het schematische stabiliteitsdiagram in figuur 24 is dit weergegeven. Een laag energetische bodem betekent een stroomsnelheid die onder kritische snelheid 1 blijft. Een hoog energetische bodem met megaribbels betekent dat de stroomsnelheid tussen de kritische snelheid 1 en 2 ligt en een hoog energetische vlakke bodem betekent dat de snelheid boven de kritische snelheid 2 ligt.



Figuur 24 Schematisch stabiliteitsdiagram met bodemstructuren en geomorfologie in relatie tot de stroomsnelheid.

Het hanteren van figuur 24 om de ontwikkelingen in de hoog energetische geomorfologische arealen te verklaren is aantrekkelijk, omdat de verklaring beperkt blijft tot veranderingen in de stroomsnelheden. De toename van het vlakke hoogenergetische areaal zou dan gerelateerd zijn aan een toename van de stroomsnelheden.

Er zijn echter verschillende argumenten die pleiten tegen de relatief eenvoudige koppeling tussen stroomsnelheden en geomorfologische klassen, zoals weergegeven in figuur 24.

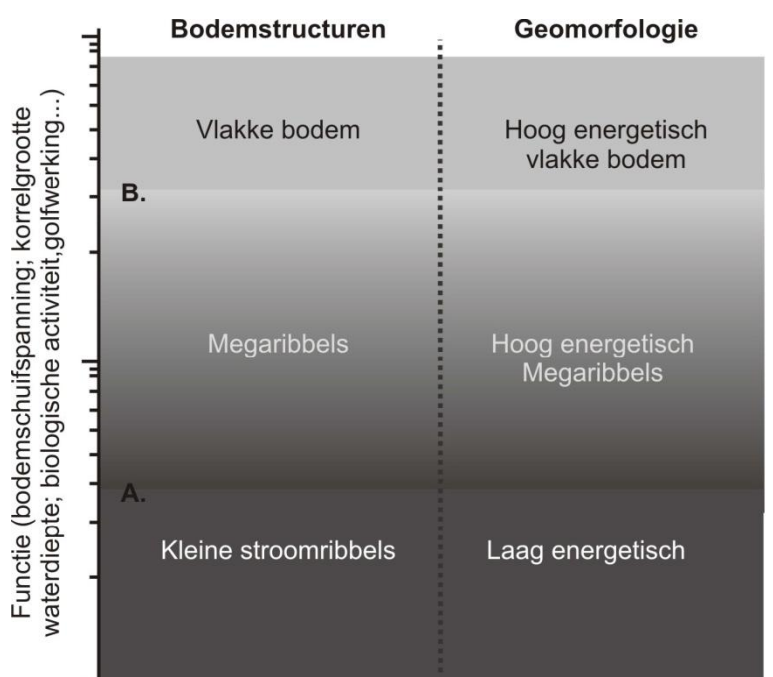
- De factor korrelgrootte (de x-as uit de stabiliteitsdiagrammen in figuur 22 en figuur 23) is geheel weggelaten in figuur 24. In werkelijkheid speelt de korrelgrootte een belangrijke rol bij de vorming van bodemvormen. Het is niet uitgesloten dat veranderingen in de korrelgrootte een rol hebben gespeeld bij de waargenomen veranderingen van de bodemvormen in de Westerschelde.
- Vanuit de theorie en empirie rond bodemvormen is bekend dat de weergave van de Shieldsparameter op y-as (zoals in figuur 23) een meer correcte weergave geeft van de bodemvormen dan alleen de stroomsnelheid (zoals in figuur 22<sup>7</sup>). De Shieldsparameter is een functie van de bodemschuifspanning (korrelgrootte, waterdiepte) en de stroomsnelheid. Deze factoren spelen allemaal een rol bij de vorming van bodemvormen (Kleinhans, 2005a en b)
- Biologische factoren (de aanwezigheid van diatomeeën- Vos e.a., 1988) spelen ook een rol in de stabiliteit van bodemvormen, evenals de factor tijd (de duur van overschrijding van een kritische snelheid – Ysebaert e.a. (2009) en de duur van de stroming – Baas (1993).
- Een andere factor die een bijdrage kan leveren aan de aanwezigheid van bodemvormen is het optreden van golven. Golven kunnen kleine golfribbels vormen, maar bij meer golfwerking wordt de bodem afgevlakt. Hiervoor bestaan eigenstandige stabiliteitsdiagrammen, net als voor de combinatie van golven met stroming (Kleinhans, 2005a).

Verder levert de eenvoudige relatie tussen stroomsnelheid en hoog – en laag energetische klassen een complex beeld op van de veranderingen in stroomsnelheden op de platen. De waargenomen toename van

<sup>7</sup> Overigens bestaan er ook stabiliteitsdiagrammen met op de y-as de (dimensieloze) bodemschuifspanning en de (gemiddelde) diepte.

het laagdynamische areaal en de afname van het hoogdynamische areaal wijst volgens de eenvoudige relatie op een afname van de stroomsnelheden. Door de afname valt meer gebied onder de kritische stroomsnelheid 1 uit figuur 24. De waargenomen afname van het areaal megaribbels en de toename van het vlakke hoogenergetische areaal duidt op een toename van het areaal waarvan de stroomsnelheden boven stroomsnelheid 2 uit figuur 24 komen. Deze combinatie van enerzijds een afname en anderzijds een toename van stroomsnelheden is moeilijk te rijmen.

De overgangen van de verschillende geomorfologische klassen worden waarschijnlijk door meerdere parameters bepaald, waarvan de stroomsnelheid er een is. In figuur 25 is daarom een aangepast stabiliteitsdiagram weergegeven, met op de y-as een serie parameters die samen bepalend zijn voor het wel of niet optreden van bodemstructuren. De overgang tussen de klassen zijn hier minder scherp aangegeven omdat in de praktijk waarschijnlijk sprake is van een overgangszone en niet van een scherpe grens.



Figuur 25 Schematisch stabiliteitsdiagram met bodemstructuren en geomorfologie in relatie tot de verschillenden parameters die te samen de bodemvormen bepalen.

#### 4.4 MINDER PLAATELEMENTEN EN MINDER HOOG-ENERGERTISCHE GEBIEDEN

De aan- of afwezigheid van megaribbelvelden en meer algemeen de overgang van laag- naar hoogdynamische klassen hangt waarschijnlijk samen met veranderingen in een aantal factoren, waaronder de stroomsnelheid. De trendmatige ontwikkelingen in de arealen (afname hoogdynamisch areaal, afname hoogenergetische areaal met megaribbels en toename hoogenergetisch vlak areaal) vinden in de gehele Westerschelde en over een lange periode plaats. Daarom is gezocht naar verklaringen voor deze ontwikkelingen met een eenzelfde tijd- en ruimteschaal, dat wil dus zegen dat de verklaringen toepasbaar zijn op de gehele Westerschelde en over een periode van tenminste 50 jaar. Drie veranderingen in de Westerschelde bieden mogelijke verklaringen: (i) de toename van de plaathoogte; (ii) de toename van de getijslag en (iii) de afname van de kortsluitgeulen en eb- en vloodschaartjes.

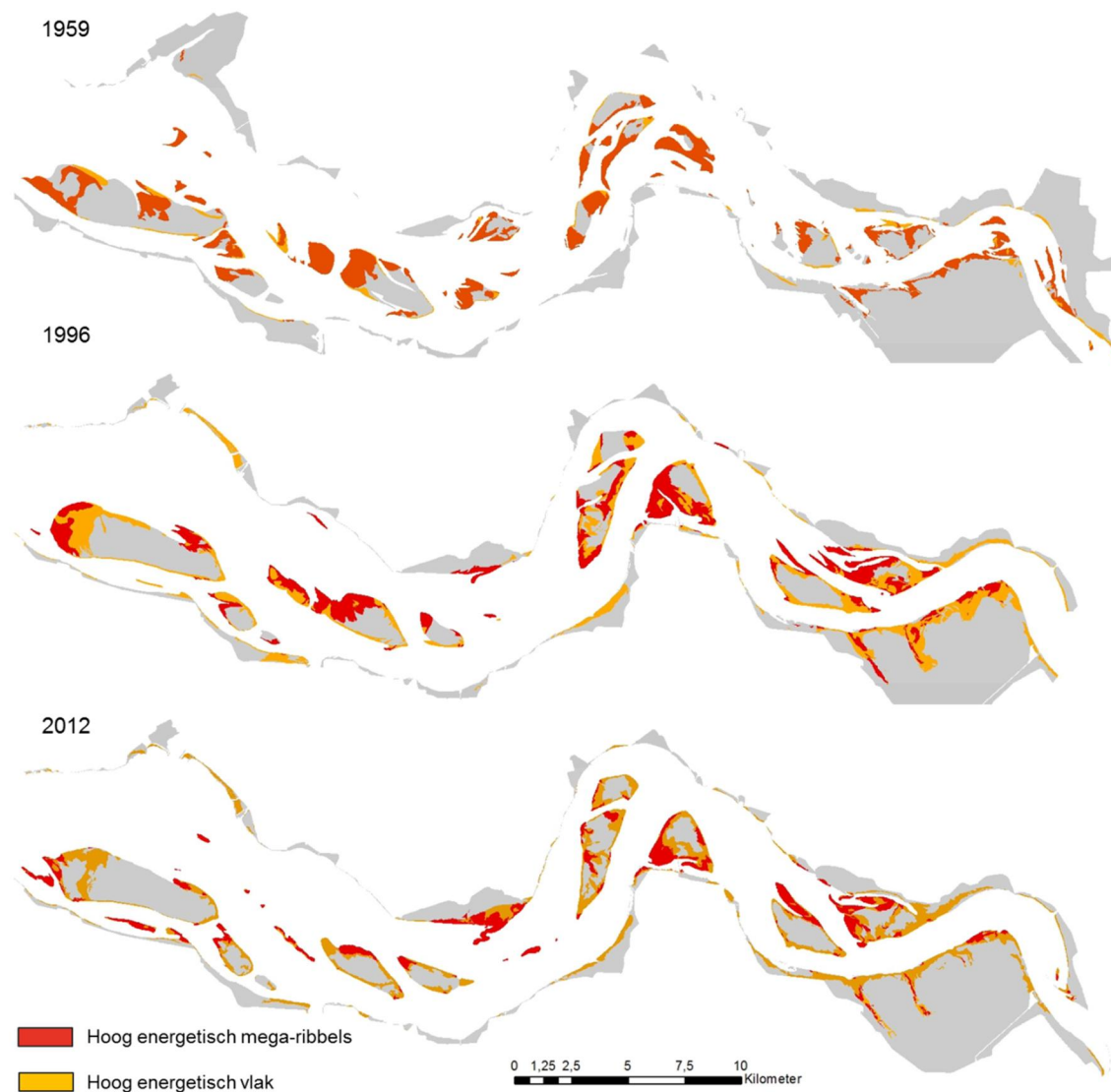
In de Westerschelde hebben veranderingen plaatsgevonden in de plaathoogte en in het getij. De plaathoogte van de plaatcomplexen in de Westerschelde is toegenomen, waarbij de mate en het periode van toename verschilt per plaatcomplex (LTV V&T rapport K-17, Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, 2013). Ook het getij in het schelde-estuarium is veranderd, waarbij de toename van de getijslag in het oostelijke deel van de Westerschelde beduidend groter is geweest dan in het westelijke deel (zie bijvoorbeeld LTV V&T rapport G-1, Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, 2013). De veranderingen in plaathoogte en in het getij hebben geleid tot veranderingen in de droogvalpercentages van de platen (Alkyon, 2006). Met de verandering van de plaathoogte en het getij zijn de relatieve hoogtes (droogvalpercentages) veranderd en daarmee de waterdieptes op de plaat. Vanwege de veranderingen in de waterdieptes bieden de veranderingen van de plaathoogte en het getij in potentie een verklaring voor de areaalveranderingen van de hoogenergetische klassen.

Het is echter niet plausibel dat deze veranderingen overal in de Westerschelde hebben geleid tot dezelfde areaalveranderingen. De veranderingen in de plaathoogte verschillen namelijk sterk per plaatcomplex, zowel in de mate van hoogte toename, als in de timing van de ontwikkelingen. Ook de veranderingen in het getij verschillen sterk van west naar oost. De ruimtelijke samenhang ontbreekt dus tussen de waargenomen areaalveranderingen en de veranderingen in plaathoogte en het getij.

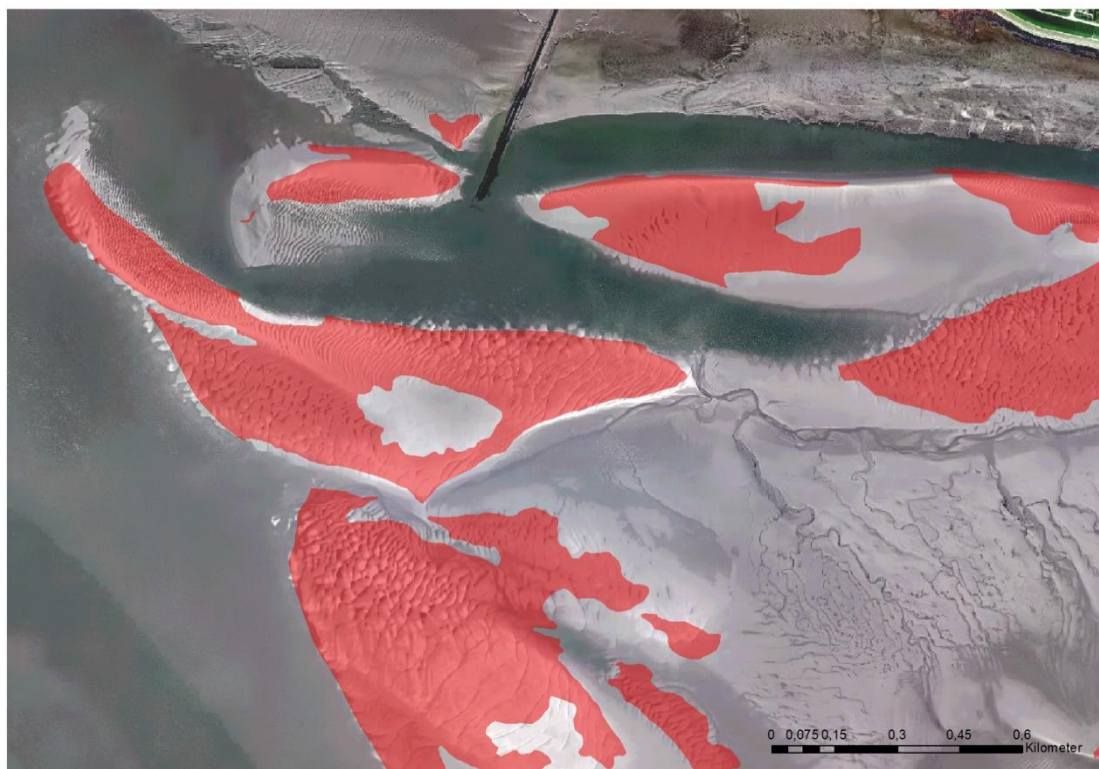
De afname van de kortsluitgeulen en eb- en vloodschaartjes vind overal in de Westerschelde plaats en sluit wel aan bij de areaalveranderingen in de Westerschelde. In de Westerschelde zijn hoogenergetische gebieden vooral aanwezig op de overgang van geul naar plaat (figuur 26). Het blijken vooral de koppen van de platen te zijn waar megaribbelvelden worden aangetroffen, zoals is gerapporteerd door Van Veen (1950) en van Straaten (1950). Een deel van de megaribbelvelden bevindt zich rond de verondiepende eb- en vloodscharen. Een voorbeeld van zo'n situatie wordt gegeven in figuur 27. Megaribbelvelden worden slechts op een beperkt aantal plekken aangetroffen op slikken langs de geulranden. Megaribbels op de oevers worden aangetroffen bij de Plaat van Baarland en de noordzijde van Saeftinghe, ter hoogte van de Schaar van de Noord. Beide locaties zijn binnenbochten van de geulen. Hoogenergetische vlakke gebieden zijn in de recente geomorfologische kaarten iets algemener langs de randen van de slikken. De plekken waar vlak en megaribbel hoogenergetisch aanwezig zijn, hebben met elkaar gemeen dat ter plaatse de getijstrooming (voornamelijk vloed, maar lokaal ook eb) vanuit de geulen de platen of het slik op beweegt. De stroomrichting vanuit de geul naar de plaat of het slik is af te leiden uit de oriëntatie van de ribbelpatronen (de kammen van de ribbels staan dwars op de stroomrichting).

In de Westerschelde heeft een sterke afname plaatsgevonden van het aantal plaalementen per plaatcomplex (Cleveringa, 2007; LTV V&T rapport K-17 Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, 2013). Met die ontwikkeling is het aantal koppen van plaalementen en aantal en omvang van de –eb- en vloodscharen sterk afgenomen. Juist dit zijn de overgangsgebieden van geul naar plaat, gebieden waar hoogenergetisch areaal wordt aangetroffen. Daarom wordt verondersteld dat deze twee ontwikkelingen met elkaar zijn verbonden. In die veronderstelling is de ontwikkeling op mesoschaal leidend: Met de afname van het aantal plaalementen per plaatcomplex en de afname van het aantal en de omvang van de eb- en vloodschaartjes zijn de megaribbel-velden afgenomen.





Figuur 26 Geomorfologische kaarten uit 1959, 1996 en 2012 met in rood de hoogenergetisch gebieden met megaribbels en in oranje de hoogenergetisch vlakke gebieden.



Figuur 27 Omgeving van de Plaat van Valkenisse en de overgang naar de Zimmermangeul, met in rood de gebieden met megaribbels in de geomorfologische kaart van 2011 (ondergrond luchtfoto Geoloket Provincie Zeeland).

#### 4.5 VERSCHUIVING VAN MEGARIBBELS NAAR VLAK

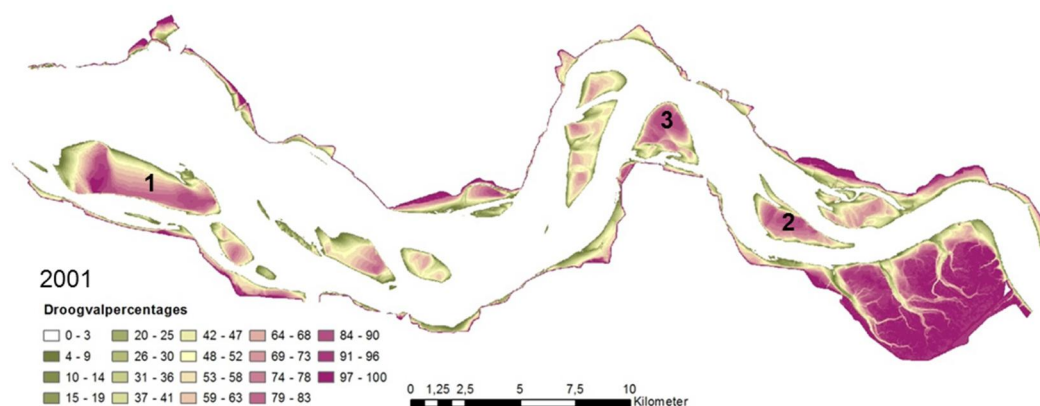
De afname van het aantal plaalementen en kortsluitgeulen biedt geen verklaring voor de relatieve toename van het areaal hoogenergetisch vlak ten opzichte van het areaal met mega-ribbels. Hiervoor is één of een combinatie van andere verklaringen voor nodig. Uit het schematische stabiliteitsdiagram in het voorgaande hoofdstuk is af te leiden dat de overgang samen kan hangen met veranderingen in de bodemschuifspanning, waterdiepte (stroomsnelheid), korrelgrootte, golfwerking en biologische activiteit. De transitie naar vlak areaal vindt overal in de Westerschelde plaats. Dat betekent dat de verklaringen breed toepasbaar moeten zijn in de Westerschelde. Zoals in de voorgaande paragraaf is betoogd, zijn de veranderingen in de plaathoogte en in het getij (waterstanden, stroomsnelheden) minder plausibele verklaringen, omdat deze binnen de Westerschelde sterk verschillen. Zonder aanvullend onderzoek naar de relatie tussen de verschillende parameters en de transitie van ribbels naar vlak is nog niet vast te stellen welke (combinatie) daarvoor de meest plausibele verklaring biedt.

# 5

## Het ontstaan van schorren op de platen

### 5.1 INLEIDING

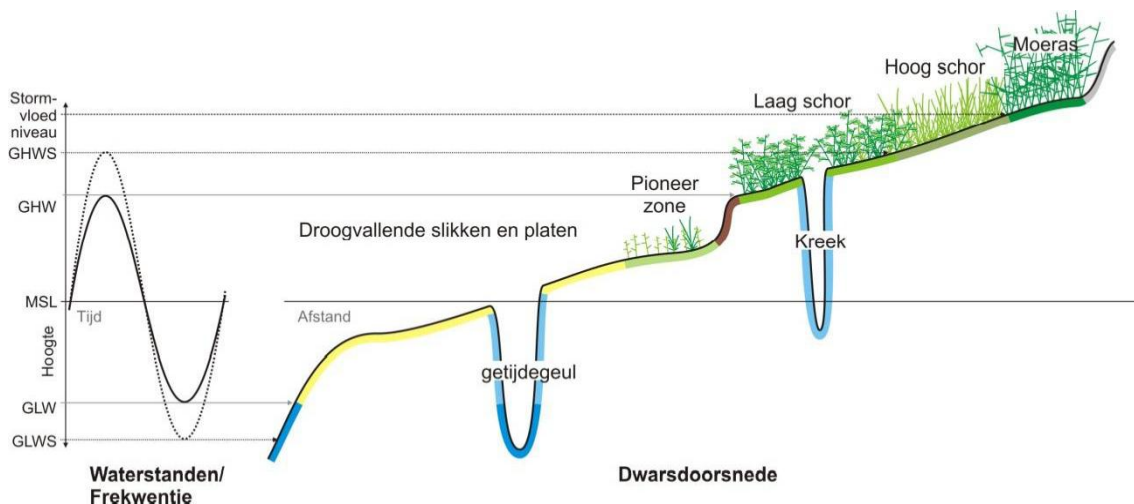
Tussen 2004 en 2008 heeft relatief grootschalige vestiging van pioniervegetatie op de Hooge Platen en de Plaat van Walsoorden plaatsgevonden. De periode daarna is veel van de pioniervegetatie veranderd in schor (figuur 6). Deze schorren lijken blijvend aanwezig op deze twee platen. In het verleden werd geen schorvegetatie aangetroffen op de platen en deze ontwikkeling is dan ook een breuk met het verleden. Om de vraag te beantwoorden welke factoren verantwoordelijk zijn voor de vestiging van vegetatie op de platen worden de drie hoogste plaatcomplexen van de Westerschelde vergeleken. In figuur 28 staan deze drie complexen aangegeven als 1: Hooge Platen; 2: Plaat van Walsoorden; en 3: Plaat van Ossenis. Op de Plaat van Ossenis ontbreekt schorvegetatie.



Figuur 28 Kaart met de droogvalpercentages in de Westerschelde voor 2004.

### 5.2 HOGERE PLATEN

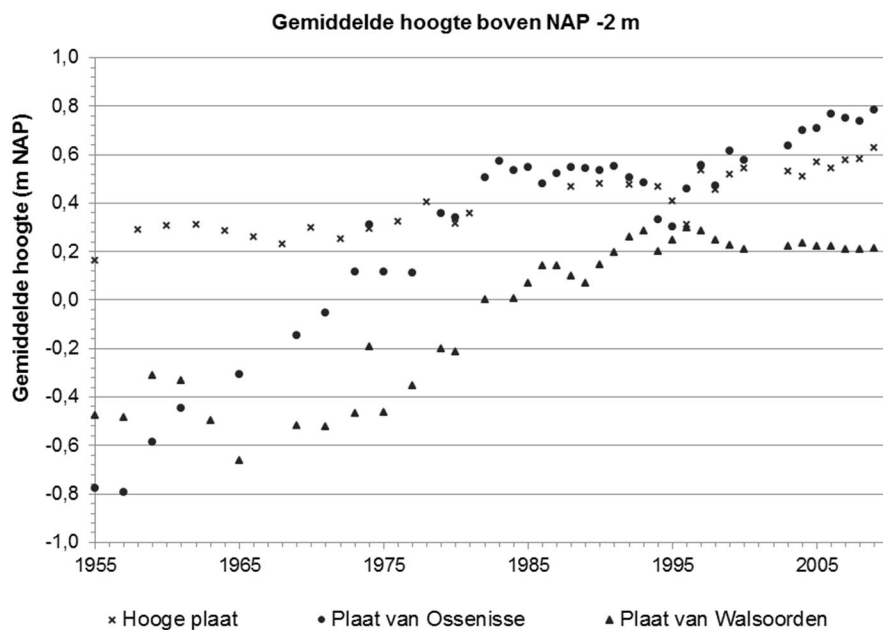
Een belangrijke factor voor de vestiging van pioniervegetatie op slikken en platen en voor de verdere ontwikkeling van de vegetatie is de hoogte ten opzichte van het getij ter plaatse. De overspoelingfrequentie bepaalt namelijk de kiemings- en groeicondities voor de planten. De pionierzone heeft een hoogte rond of net onder het niveau van gemiddeld hoogwater en het schor heeft een hoogte daarboven (figuur 29).



Figuur 29 Schematische dwarsdoorsnede van slik, plaat en schor ten opzichte van de waterstanden (naar Dijkema, 2001).

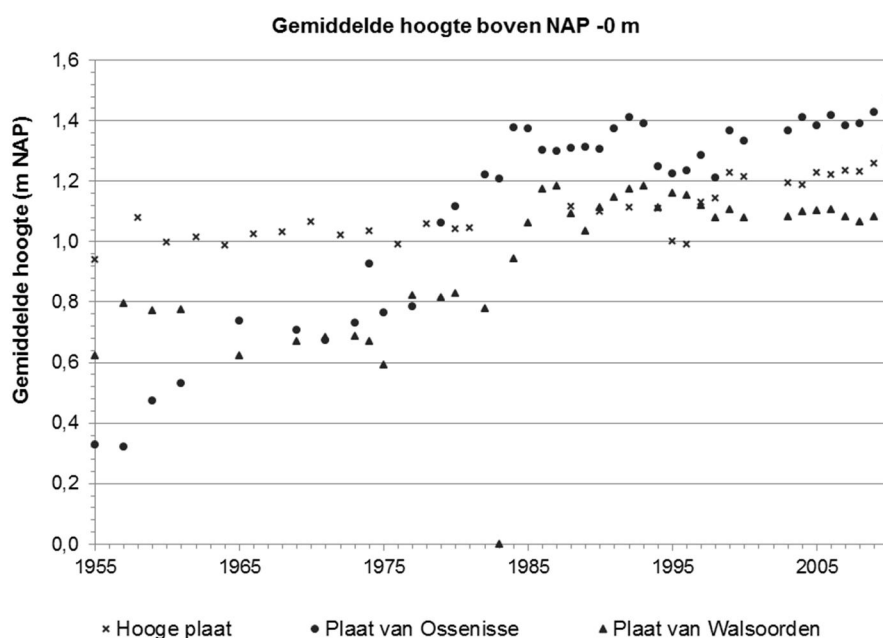
In figuur 28 is zichtbaar dat de droogvalpercentages van de drie hoge platen vergelijkbaar zijn. Alleen het westelijke deel van de Hooge Platen (De Bol) heeft hogere droogvalpercentages. Dit stuk van de Hooge Platen omvat enkele lage duintjes en al langer begroeide delen. In deze beschouwing wordt naar het midden en oosten van de Hooge Platen gekeken.

De hoogte van de plaatcomplexen is toegenomen, zoals zichtbaar is in figuur 30. De mate van toename verschilt en ook de periode waarin de hoogtetoeename heeft plaatsgevonden verschillen. De Hooge Platen waren al relatief hoog aan het begin van de waarnemingsreeks en nemen nog steeds enigszins in hoogte toe. De Plaat van Walsoorden heeft een toename gekend tot halverwege de jaren negentig is daarna gestabiliseerd. De Plaat van Ossensisse neemt nog steeds in hoogte toe. Gemiddeld over het gehele plaatcomplex is de Plaat van Ossensisse tegenwoordig het hoogst van alle drie de plaatcomplexen.



Figuur 30 Grafiek met de gemiddelde hoogte van de platen boven NAP-2 m (naar LTV V&T rapport LTV V&T K-17 Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, 2013).

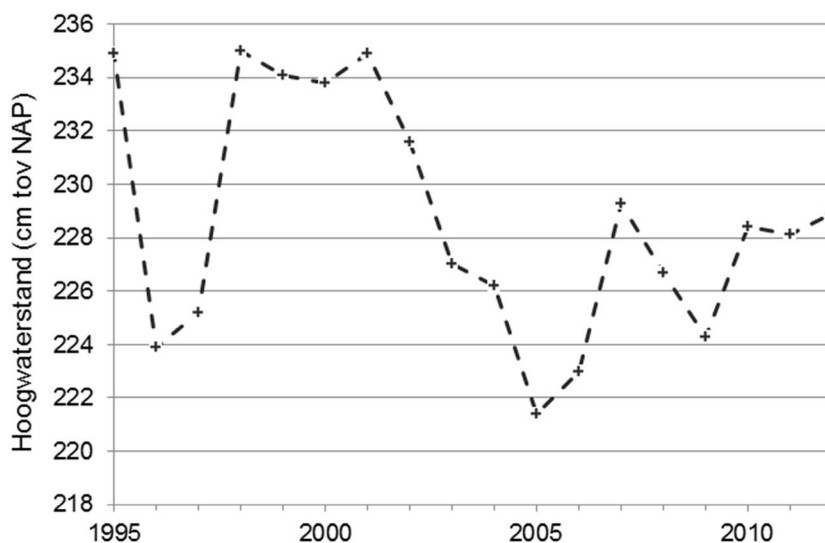
De grafiek in figuur 30 heeft betrekking op de gehele plaatcomplexen, boven NAP -2m. Dat betekent dat ook de lagere delen, die voor de vorming en ontwikkeling van schorren van geen belang zijn, worden meegewogen. Daarom is in figuur 31 ook de ontwikkeling van de hogere delen, boven NAP 0 m weergegeven. De patronen in die grafiek komen overeen met die in de figuur 30, maar de gemiddelde hoogte is hoger.



Figuur 31 Grafiek met de gemiddelde hoogte van de platen boven NAP 0 m.

In de periode waarop de sterkste toename van het areaal pioniervegetatie heeft plaatsgevonden, tussen 2004 en 2008, was de Plaat van Ossensisse gemiddeld het hoogste en de Plaat van Walsoorden gemiddeld het laagst. Ook als in detail naar de droogvalpercentages wordt gekeken (waarin naast de hoogte ook de lokale waterstanden zijn opgenomen) is de Plaat van Ossensisse het droogst van de drie platen.

In de periode waarin de pioniervegetatie is gevestigd, was van een toename van de hoogte van de Plaat van Walsoorden al enige tijd geen sprake meer. De hoogte van deze plaat was stabiel vanaf halverwege de jaren '90. De vestiging van de pioniervegetatie is waarschijnlijk getriggerd door afnemende hoogwaterstanden in de periode tussen 2001 en 2005. In deze periode zijn de gemiddelde hoogwaterstanden afgenomen ten opzichte van de voorgaande periode, zoals zichtbaar is in figuur 32 (hiermee is een "window of opportunity" ontstaan, vergelijkbaar met wat beschreven is voor de vestiging van mangroven: Balke e.a., 2011).



Figuur 32 Jaargemiddelde hoogwaterstand te Terneuzen.

### 5.3 WAAROM IS ER GEEN SCHOR OP DE PLAAT VAN OSSENISSE?

Van de drie hoge plaatcomplexen in de Westerschelde is de Plaat van Ossenis de hoogste. Desondanks heeft zich op de Plaat van Ossenis geen vegetatie gevestigd en op de twee andere platen wel. Verondersteld wordt dat de hoogwaterstanden ook op de Plaat van Ossenis lager zijn geweest in de periode waarin op de twee andere platen vestiging van pioniervegetatie heeft plaatsgevonden. Deze veronderstelling is gebaseerd op de kennis van het getij in de Westerschelde (LTV V&T rapporten G-1; G-5; G-7 Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, 2013).

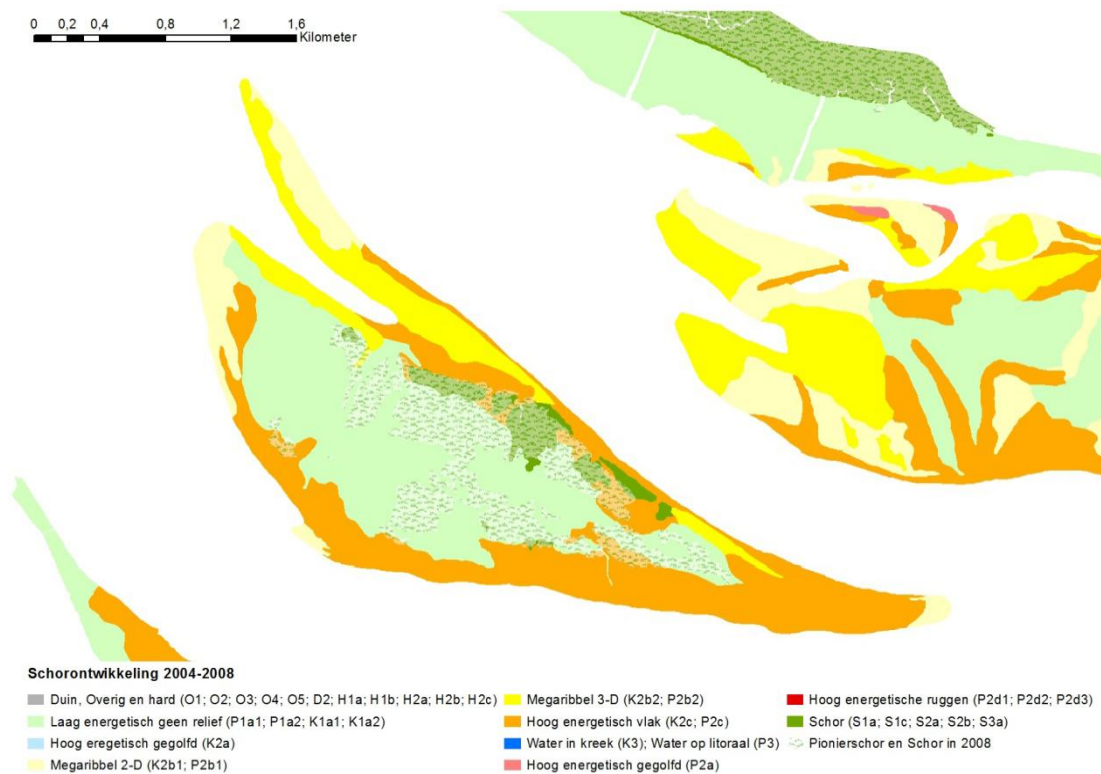
Blijkbaar is er een of zijn er meerdere factoren die de vestiging van vegetatie op de Plaat van Ossenis hebben beperkt. Maar welke factor of factoren zouden dat kunnen zijn?

Er is wel gesuggereerd dat de stroomsnelheden op de Plaat van Ossenis te hoog zouden zijn voor de vestiging van vegetatie. Als dat al zo is, dan blijkt dat niet uit de verbreiding van het laagdynamische areaal. Uit de geomorfologische kaarten blijkt dat vooral laagenergetisch areaal wordt omgezet in pionierschor en schor. Dit is geïllustreerd met geomorfologische kaarten van 2004, waarover het areaal schor en pionierschor is weergegeven, voor de Plaat van Walsoorden (figuur 33), de Hoge Platen (figuur 34) en de Plaat van Ossenis (figuur 35). Uit deze kaarten wordt ook duidelijk dat de aanwezigheid van laagdynamisch areaal geen beperkende factor is op de Plaat van Ossenis. De oostelijke helft van de plaat bestaat uit een groot aangesloten gebied dat als laagdynamisch areaal is gekarteerd.

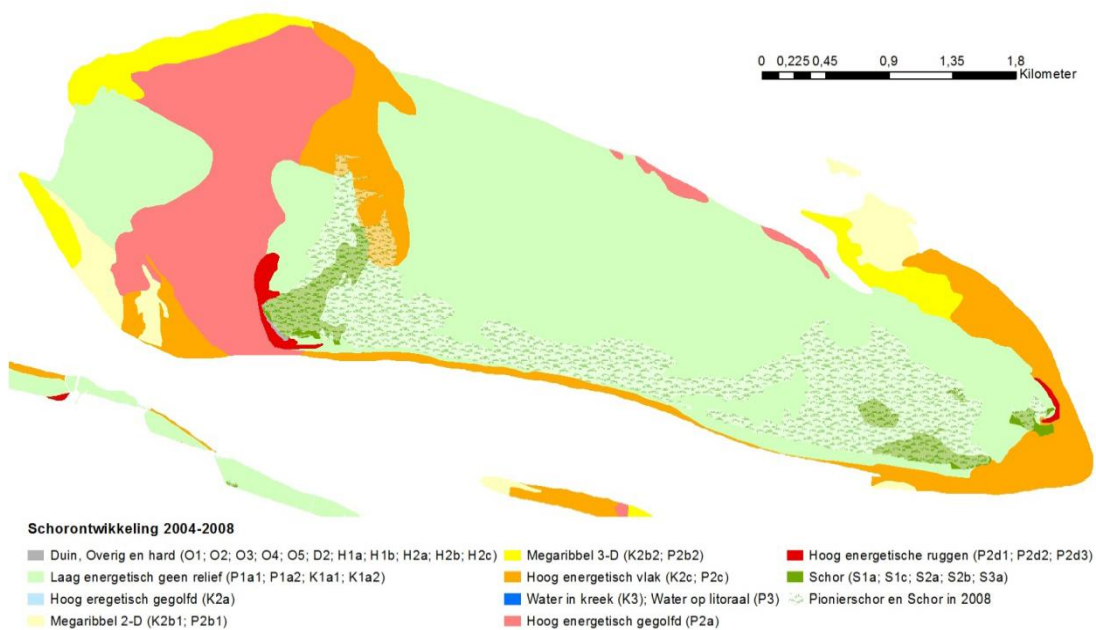
Overigens wordt de verbreiding van het laagdynamische niet alleen bepaald door de stroomsnelheden (figuur 25), zodat het niet uitgesloten is dat –onder bepaalde omstandigheden– hoge stroomsnelheden optreden die de vestiging en ontwikkeling van vegetatie hebben beperkt.

Een onderbouwde verklaring, die het ontbreken van schor op de Plaat van Ossenis verklaart, is voornamelijk niet beschikbaar.

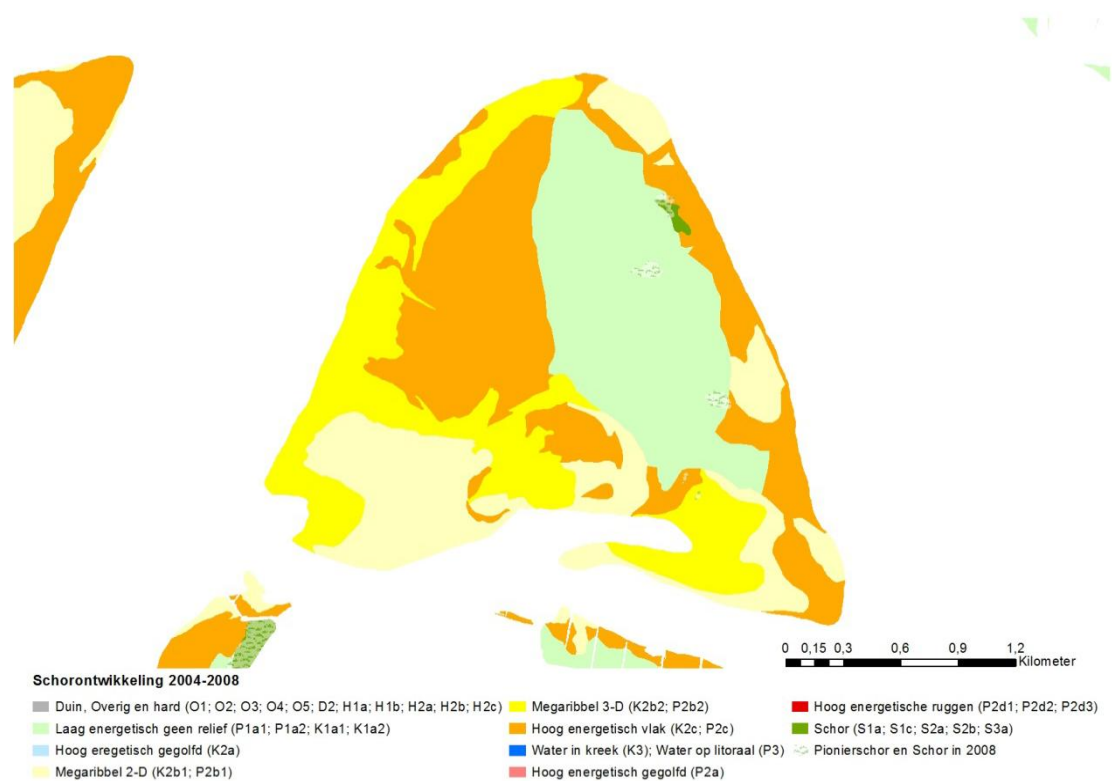




Figuur 33 Geomorfologische kaart uit 2004 met daarover het areaal schor en pionierschor in 2008 voor de Plaats van Walsoorden.



Figuur 34 Geomorfologische kaart uit 2004 met daarover het areaal schor en pionierschor in 2008 voor de Hooge Platen.



Figuur 35 Geomorfologische kaart uit 2004 met daarover het areaal schor en pionierschor in 2008 voor de Plaat van Ossensisse.



# 6

## Conclusies en kennisvragen

### 6.1 CONCLUSIES: TRENDS IN DE ONTWIKKELING VAN DE AREALEN

De onderling samenhangende trends en ontwikkelingen in de opeenvolgende Ecotopenkaarten zijn:

1. Uitwisseling areaal droogvallende delen (plaat, slik en schor) met areaal geulen;
2. Toename laagdynamisch delen in de geulen (sublitoraal);
3. Toename areaal schor;
4. Afname areaal natuurlijk hard substraat, gevolgd door geleidelijke toename;
5. Afname hoogdynamische delen op de droogvallende delen (litoraal).

De bandbreedte rond het hoog- en laagdynamische litoraal areaal bedraagt +/- 375 ha. De waargenomen toename van laagdynamische delen past binnen deze bandbreedte.

De waargenomen veranderingen treden op in samenhang met de morfologische veranderingen en veranderingen in waterstanden in de Westerschelde

### 6.2 KENNISVRAGEN

#### *Stabiliteitsrelatie(s)*

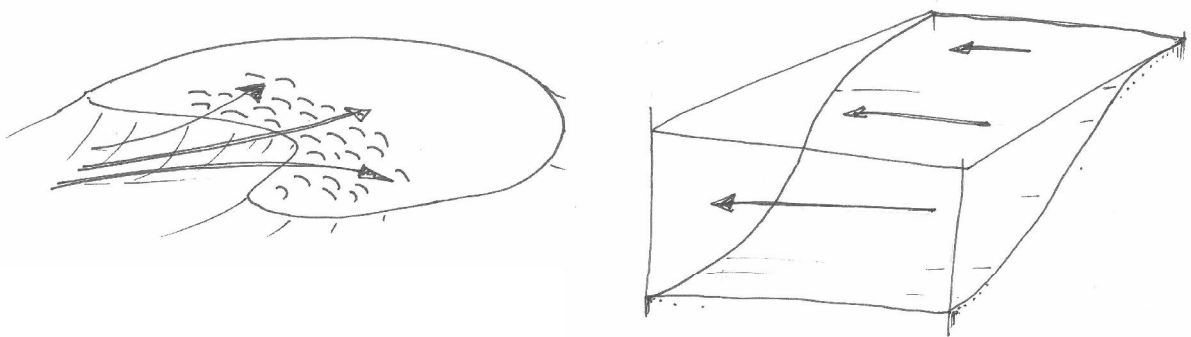
In paragraaf 4.3 is betoogd dat zowel de overgang van laagenergetische naar hoogenergetisch als de aan- of afwezigheid van megaribbels gestuurd worden door de bodemschuifspanning; korrelgrootte; waterdiepte; biologische activiteit en de golfwerking. Of inderdaad sprake is van een functioneel verband en hoe deze er uit ziet, zal nog moeten worden vastgesteld. In eerste instantie kan worden begonnen met de Shieldsparameter, met een aanname voor eenzelfde korrelgrootte in de gehele Westerschelde. Daarna kan complexiteit worden toegevoegd, bijvoorbeeld in de vorm van een ruimtelijk variërende korrelgrootte. De basisgegevens hiervoor zijn deels beschikbaar (dieptes uit metingen, stroomsnelheden uit numerieke modelsimulaties, korrelgroottes uit metingen, golven uit numerieke modelsimulaties). Deels zullen hiervoor aannames moeten worden gedaan en mogelijk zijn aanvullende metingen wenselijk. Met een goede functie wordt het beter dan nu mogelijk om vast te stellen waarom areaalveranderingen zijn opgetreden. Dit kan leiden tot een bevredigend antwoord op de vraag waarom het hoogdynamische areaal met megaribbels is afgenomen en het vlakke areaal is toegenomen (paragraaf 4.5). Ook de voorspellingen van de toekomstige ontwikkelingen, autonoom en onder invloed van ingrepen, wordt hiermee beter mogelijk.

#### *De relatie tussen de mesoschaal ontwikkeling en het areaal hoogdynamisch*

In paragraaf 4.4 is de relatie gelegd tussen de afname van het hoogdynamische areaal en de afname van kortsluitgeulen. Deze relatie is gebaseerd op de parallelle afname en de schijnbare samenhang in de locaties waar deze ontwikkeling plaatsvindt, het is een fenomenologische duiding. Een meer

fundamentele analyse waarin deze relatie wordt aangetoond (of wordt verworpen), via de veranderingen in stroomsnelheden, stromingspatronen en sedimenttransporten is gewenst. Dat vereist, naast de hierboven genoemde functie voor de stabiliteitsrelaties ook goede, gedetailleerde numerieke modelsimulaties voor de stroomsnelheid en sedimenttransporten. De gedetailleerde metingen en berekeningen rond Walsoorden (o.a., Plancke e.a., 2009) en de plaatrandstoringen bieden daarvoor goede aanknopingspunten.

Naast numerieke modellen is het nuttig om denkmodellen te ontwikkelen waarin de samenhang tussen de morfologie op mesoschaal en de stroming en geomorfologie duidelijk wordt. Ter illustratie zijn twee schetsjes opgenomen in figuur 36, waarin met pijltjes de stroming is weergegeven zoals die optreedt bij een schaaftje dat een plaat insteekt en langs een overgang naar het litoraal. Het nut van dergelijke schetsjes ligt in het begrip dat het kan opleveren wanneer veranderingen optreden in de morfologie (op mesoschaal). Conceptuele modellen zijn ook nuttig bij het beschouwen van de uitkomsten van de numerieke modelsimulaties (en metingen).



Figuur 36 Schematische weergave van de stroming rond een schaaftje (links) en langs de overgang van geul naar litoraal (rechts).

*Wat is de limiterende factor voor schorvorming op de Plaat van Ossensisse?*

Een bevredigende verklaring voor het ontbreken van schorren op de Platen van Ossensisse is nog niet voorhanden (paragraaf 5.3). Een verklaring is wel wenselijk om de verwachtingen voor toekomstige schorontwikkeling op deze en andere platen te duiden.

# 7

## Referenties

- Alkyon, (2006) Plaatmorphologie Westerschelde; Veranderingen in de plaatmorphologie van de Westerschelde en de gevolgen voor het steltloperhabitat. Alkyonrapport A1774R1r2.
- Baas, J.H., (1993). Dimensional analysis of current ripples in recent and ancient depositional environments. Proefschrift Universiteit Utrecht, Geologica Ultraiectina 106.
- Boersma, J.R. & J.H.J. Terwindt (1981). Berms on an intertidal shoal: shape and internal structure. In: Nio, S.D., Schuttenhelm, R.T.E. & van Weering, Tj.C.E. (Eds.) Holocene marine sedimentation in the North Sea Basin I.A.S. Spec. Publ. 5, 3 - 26.
- Bouma, H., D.J. de Jong, F. Twisk & F. Wolfstein (2005) K. Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1) Voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. Rapport RIKZ/2005.024.
- Cleveringa, J. (2007). MER verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. Achtergrond-document morfologische ontwikkeling Westerschelde. Fenomenologisch onderzoek naar de ontwikkelingen op mesoschaal.
- Cleveringa, J. (2014) T2009-Rapport Schelde estuarium-Addendum Leefomgeving, bij T2009-RAPPORT SCHELDE-ESTUARIUM, consortium ARCADIS, IMDC, NIOZ, Universiteit van Antwerpen (UA) en IMARES.
- de Jong, J.W. & J.M. Reitsma, 2011. Toelichting bij de Geomorfologische Kartering Westerschelde 2010; Op basis van false colour-luchtfoto's 1:10.000. Rijkswaterstaat, Bureau Waardenburg rapport.
- de Jong, J.W. 2012. Toelichting bij de Geomorfologische Kartering Westerschelde 2011; Op basis van false colour-luchtfoto's 1:15.000. Rijkswaterstaat, Bureau Waardenburg rapport. Baas, J. H., Oost, A. P., Sztano, O. K., de Boer, P. L. and Postma, G. (1993), Time as an independent variable for current ripples developing towards linguoid equilibrium morphology. Terra Nova, 5: 29–35.
- Dijkema, K.S., A. Nicolai, J. de Vlas, C.J. Smit, H. Jongerius & H. Nauta 2001. Van landaanwinning naar kwelderwerken. Leeuwarden, Rijkswaterstaat dir Noord-Nederland en Texel, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, 68 p.
- Kleinhans, M. G. (2005a), Phase diagrams of bed states in steady, unsteady, oscillatory and mixed flows, in Sandpit Project, edited by L. C. V. Rijn et al., pp. Q1– Q16, Aqua, Amsterdam.
- Kleinhans, M. G. (2005b), Flow discharge and sediment transport models for estimating a minimum timescale of hydrological activity and channel and delta formation on Mars, J. Geophys. Res., 110, E12003.
- Kohsiek, L.H.M. & J.H.J. Terwindt (1981) Characteristics of foreset and topset bedding in megaripples related to hydrodynamic conditions on an intertidal shoal. In: Nio, S.D., Schuttenhelm, R.T.E. & van Weering, Tj.C.E. (Eds.) Holocene marine sedimentation in the North Sea Basin I.A.S. Spec. Publ. 5, 3 - 26.
- Plancke, Y.; Vos, G.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009). Habitatmapping Westerschelde: deelrapport 1. Classificatie op basis van bodemvormen en hydrodynamica. Versie 3.0. WL Rapporten, 754\_06. Waterbouwkundig Laboratorium.

- Sinke, O. (2011) Morfologische ontwikkelingen omgeving slikken bath 1955-2010. Rapport Deltares 1204402-000-ZKS-0012.
- van der Wal, D., A. Wielemaker, D. Raymaekers, E. Knaeps, T. Ysebaert, T.J. Bouma, H. Hummel & P.M.J. Herman (2010a). Ecologisch monitoringprogramma alternatieve stortlokaties Westerschelde; T0 Oostelijke Westerschelde. Eindrapport. Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW) in samenwerking met VITO-TAP.
- van der Wal, D., A. Wielemaker, D. Raymaekers, E. Knaeps, T. Ysebaert, T.J. Bouma, H. Hummel & P.M.J. Herman (2010b). Ecologisch monitoringprogramma alternatieve stortlokaties Westerschelde: Plaat van Walsoorden. Eindrapport. Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW) in samenwerking met VITO-TAP,
- van Eck, G.Th.M. & Holzhauer, H. (Ed.) (2007). Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43': MOVE eindrapport 2006 (Rapport 10). Rapport Rijkswaterstaat RIKZ2007.003.
- Van Straaten, L.M.J.U. (1950). Giant ripples in tidal channels, Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, Vol. 67, ook als speciale uitgave ter gelegenheid van het Waddensymposium 1949.
- Van Veen, J. (1950). Eb- en Vloedschaar Systemen in de Nederlandse Getijwateren, Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, Vol. 67, ook als speciale uitgave ter gelegenheid van het Waddensymposium 1949.
- Vos, P.C., P.L. de Boer, P.L. & R. Misdorp, (1988) Sediment stabilization by benthic diatoms in intertidal sandy shoals. In: P.L. de Boer et al. (reds.) Tide-Influenced Environment and Facies, 511-526.
- Ysebaert, T.J.; Plancke, Y.; Bolle, L.J.; De Mesel, I.G.; Vos, G.; Wielemaker-Van den Dool, A.; van der Wal, D.; Herman, P.M.J. (2009). Habitatmapping Westerschelde: deelrapport 2. Ecologische karakteristieken en ecotopen in het subtidaal van de Westerschelde. Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO -KNAW). Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie: Yerseke. 106 pp.

*LTV V&T Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, 2013:*

- Data-analyse waterstanden Westerschelde. LTV V&T-rapport G-1
- Grootschalige sedimentbalans van de Westerschelde. LTV V&T-rapport G-2
- De rol van het slib in de sedimentbalans van de Westerschelde. LTV V&T-rapport G-3
- Influence morphology on tide and sand transport. LTV V&T-rapport G-4
- Data-analysis water levels, bathymetry Western Scheldt. LTV V&T-rapport G-5
- Tidal Phenomena in the Scheldt Estuary, part 2. LTV V&T-rapport G-7
- Aanvullend onderzoek historische ontwikkeling getij. LTV V&T-rapport G-8
- Probleemanalyse zandwinning. LTV V&T-rapport G-10
- Simulaties met effectanalyse op schaal estuarium. LTV V&T-rapport G-11
- Effect morfologie monding Westerschelde op getij. LTV V&T-rapport G-12
- Synthese en conceptueel model. LTV V&T-rapport G-13
- Response of tidal rivers to deepening and narrowing. LTV V&T-rapport G-14
- Ontwikkeling mesoschaal Westerschelde (factsheets). LTV V&T-rapport K-16
- Samenhang ontwikkelingen tijd- en ruimteschalen. LTV V&T-rapport K-17
- Ontwikkeling mesoschaal Zeeschelde (factsheets). LTV V&T-rapport K-18
- Zeeschelde- nota analyse bodemligging. LTV V&T-rapport K-19
- Simulaties met effectanalyse op mesoschaal. LTV V&T-rapport K-20
- Analyse havenstortvak W13. LTV V&T-rapport B-21
- Analyse alle havenstortvakken Westerschelde. LTV V&T-rapport B-22
- Analyse stortvakken Beneden-Zeeschelde. LTV V&T-rapport B-23
- Gebruik van nevengeulen voor binnenvaart. LTV V&T-rapport B-24
- Mitigatie dwarsstroming Zuidergat. LTV V&T-rapport B-25

Actualisatierapport Finel 2D Schelde-estuarium. LTV V&T-rapport A-26

Actualisatierapport Delft3D Schelde-estuarium. LTV V&T-rapport A-27

Harde lagen Westerschelde. LTV V&T-rapport A-28

Harde lagen Beneden-Zeeschelde. LTV V&T-rapport A-29

Overzicht data, beschikbaarheid Open Earth, ftp. LTV V&T-rapport A-30

Baggeren en storten. LTV V&T-rapport A-31

Plancke, Y; Maximova, T; Ides, S; Peeters, P; Taverniers, E.; Mostaert, F. (2012). Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid: Sub project 1: Data Analysis and hypothesis - Lower Sea Scheldt. Version 4.0. WL rapporten, 756/05. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium

Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, Waterbouwkundig Laboratorium, 2013. LTV V&T-rapport G-9: Toepassing van de Vlaamse en de Nederlandse methodes om het overstromingsrisico te bepalen van dijkkring 31, Zuid-Beveland.

Vandenbruwaene, W.; Vos, G.; Plancke, E.; Mostaert, F. (2012). Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid en Toegankelijkheid: Onderzoek naar de morfologie op mesoschaal ter hoogte van de stortlocaties. Versie 3.0. WL rapporten, 791/10a. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

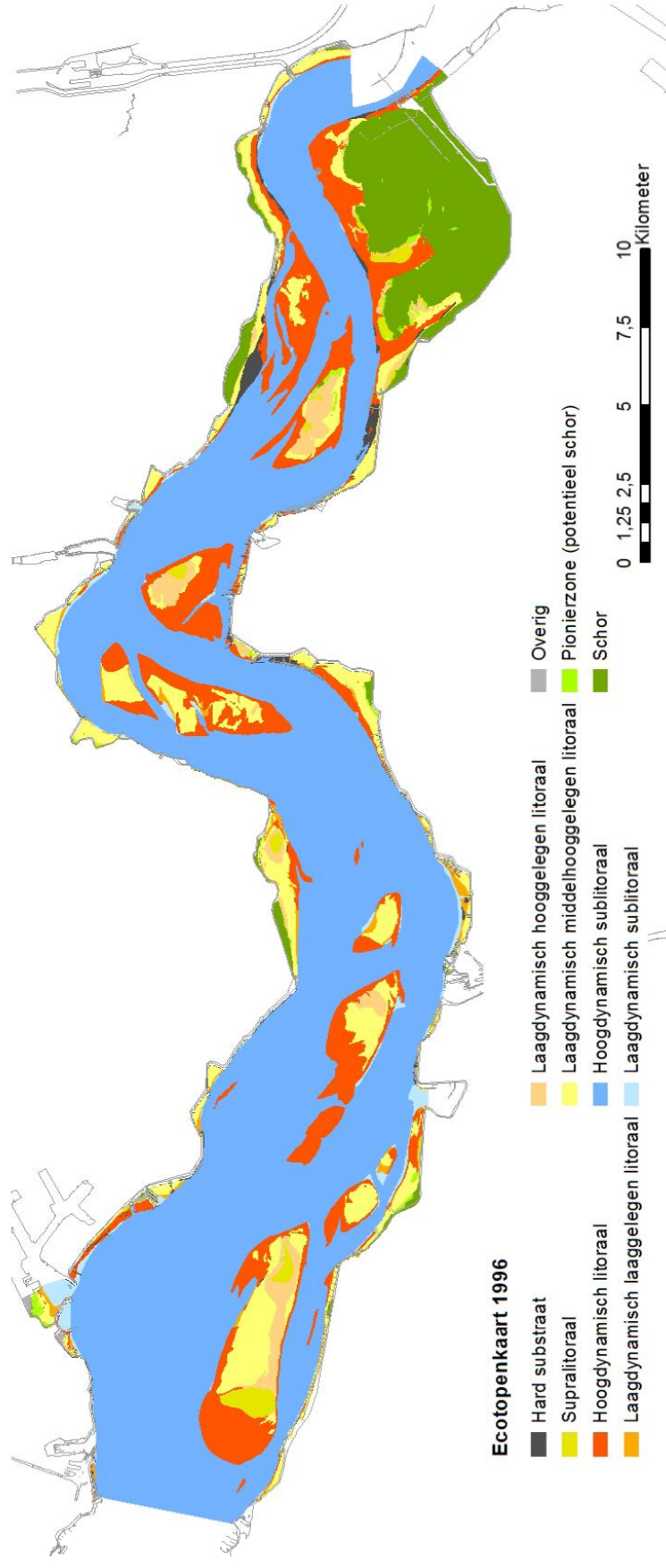
# Bijlage 1 Ecotopenarealen

Totaal WS	1996	2001	2004	2008	2010	2011	2012
Hoogdynamisch sublitoraal	19.266	19.352	19.467	19.339	19.288	19.118	19.143
Laagdynamisch sublitoraal	411	488	551	619	685	719	736
Hoogdynamisch litoraal	3.881	3.743	3.451	3.656	3.330	3.316	3.302
Laagdynamisch laaggelegen litoraal	261	358	409	310	326	316	301
Laagdynamisch middelhooggelegen litoraal	2.670	2.695	2.881	2.664	2.853	2.943	2.973
Laagdynamisch hooggelegen litoraal	693	560	562	468	592	610	525
Pionierschor	141	212	192	408	211	191	237
Schor	2.671	2.696	2.656	2.748	2.841	2.931	2.952
Supralitoraal	325	229	234	180	237	208	181
Hard	340	319	255	269	284	290	296
Overige	61	67	63	60	75	77	76
<b>Totaal</b>	<b>30.720</b>	<b>30.720</b>	<b>30.720</b>	<b>30.721</b>	<b>30.721</b>	<b>30.721</b>	<b>30.721</b>

Tabel 1 Ecotopenarealen (hectares) in de Westerschelde (V3 december 2013, gebiedsafbakening in figuur 1).

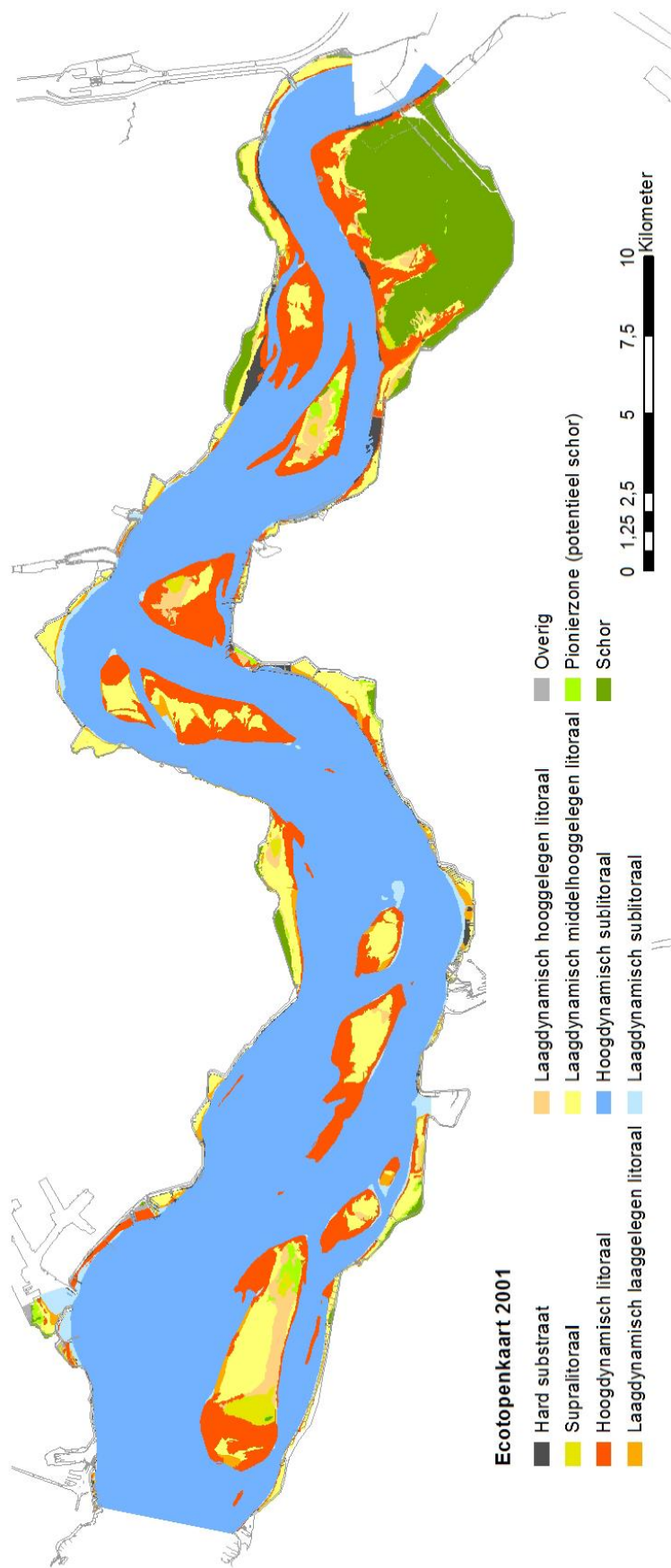
## Bijlage 2

## Ecotopenkaarten

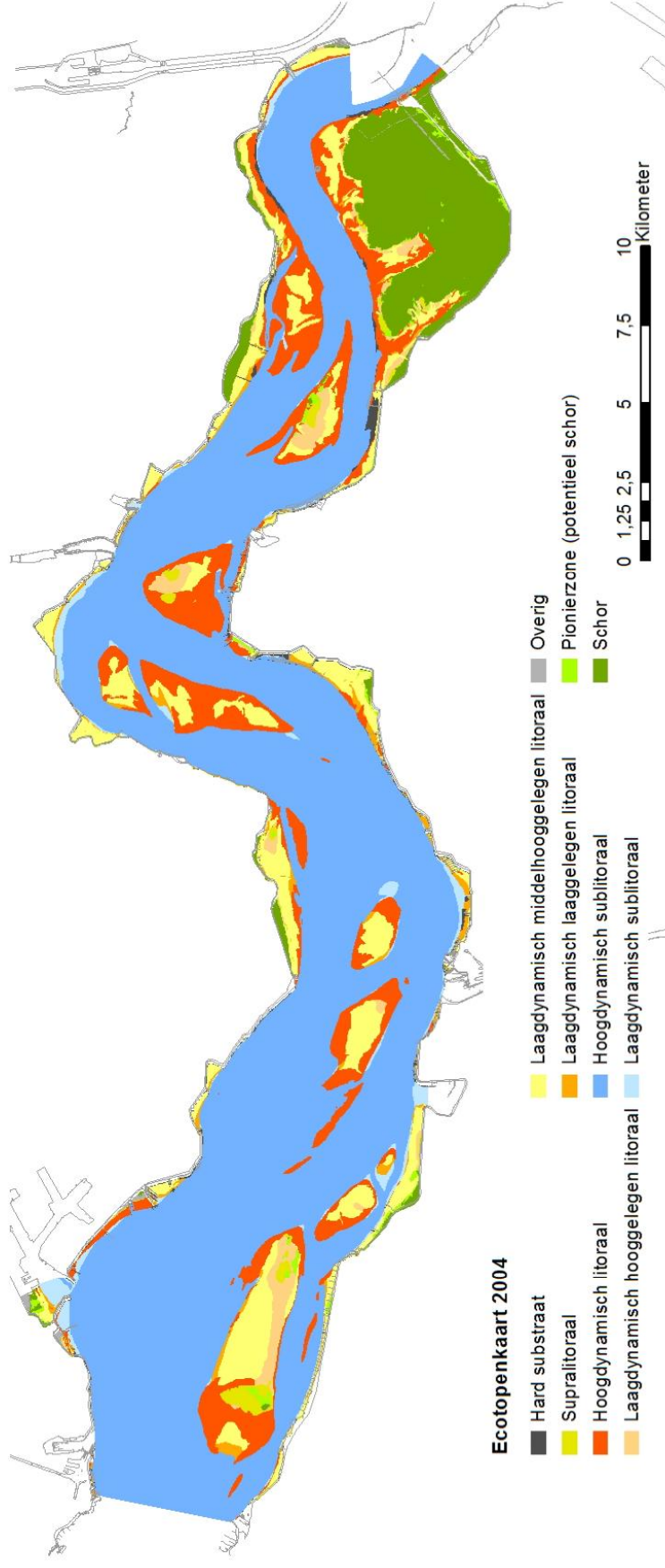


Figuur 37 Ecotopenkaart Westerschelde 1996 (versie V3 december 2013, gebiedsafbakening conform voorliggende rapport).

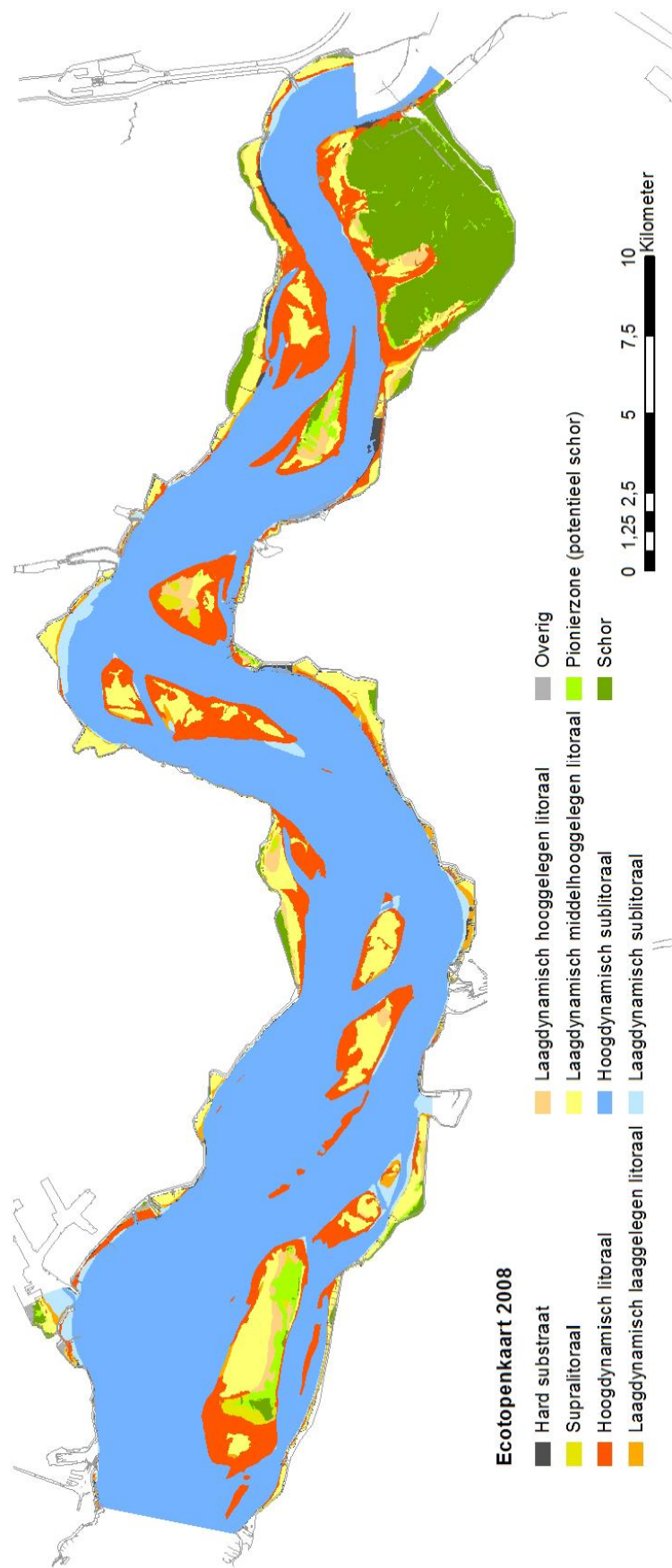




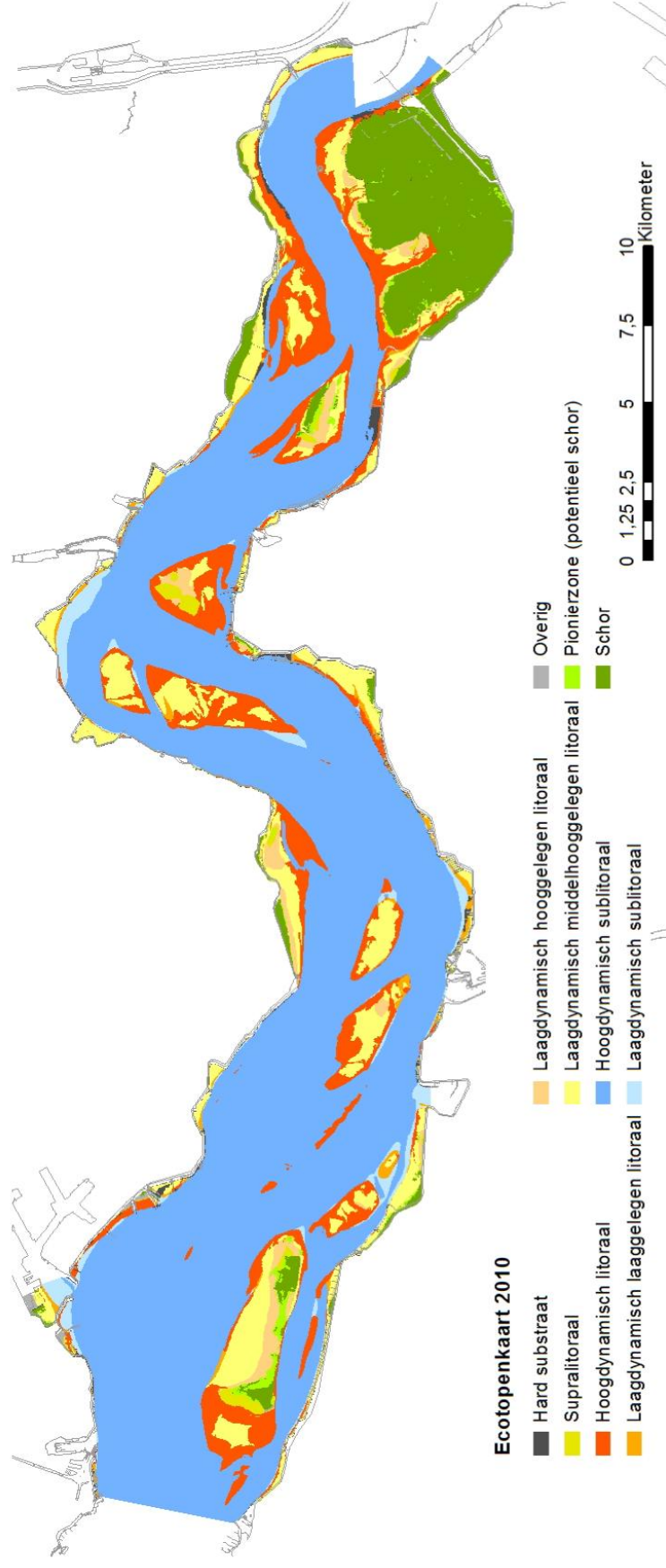
Figuur 38 Ecotopenkaart Westerschelde 2001 (versie V3 december 2013, gebiedsafbakening conform voorliggende rapport).



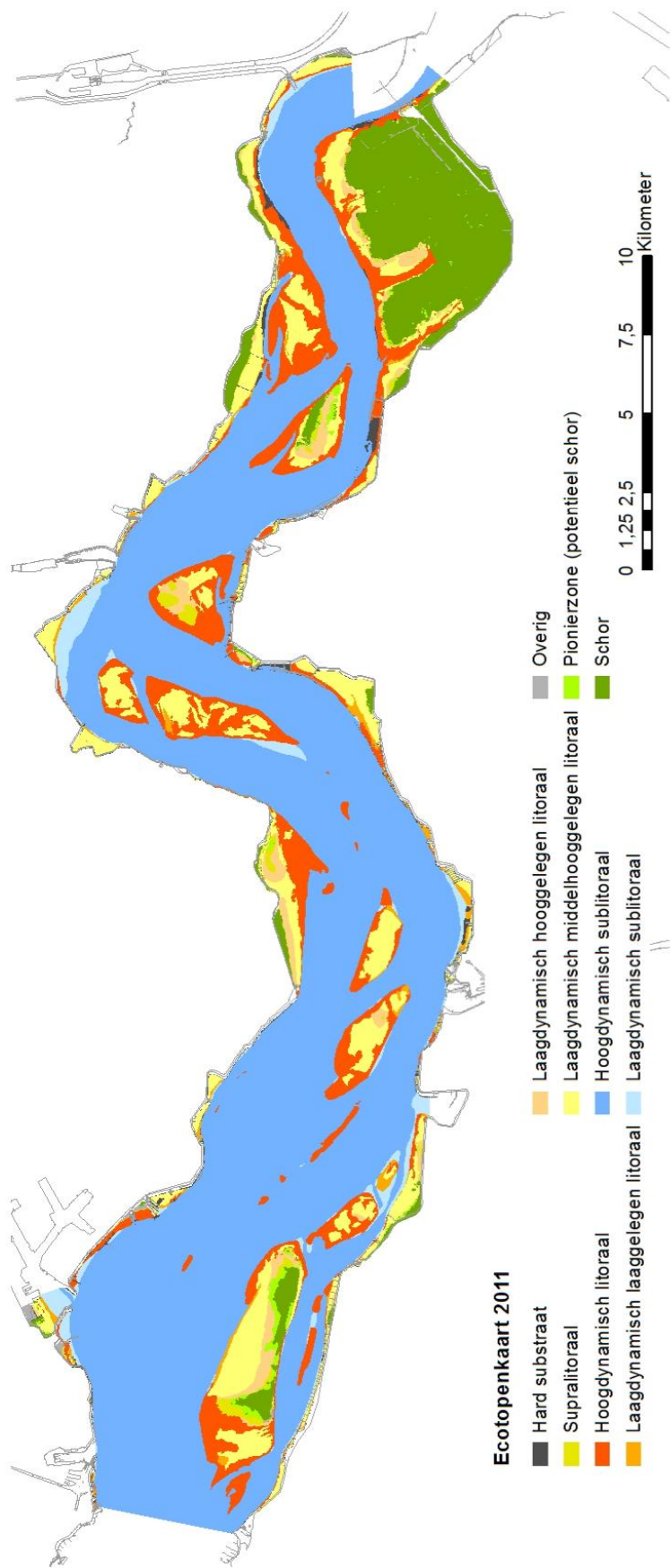
Figuur 39 Ecotopenkaart Westerschelde 2004 (versie V3 december 2013, gebiedsafbakening conform voorliggende rapport).



Figuur 40 Ecotopenkaart Westerschelde 2008 (versie V3 december 2013, gebiedsafbakening conform voorliggende rapport).

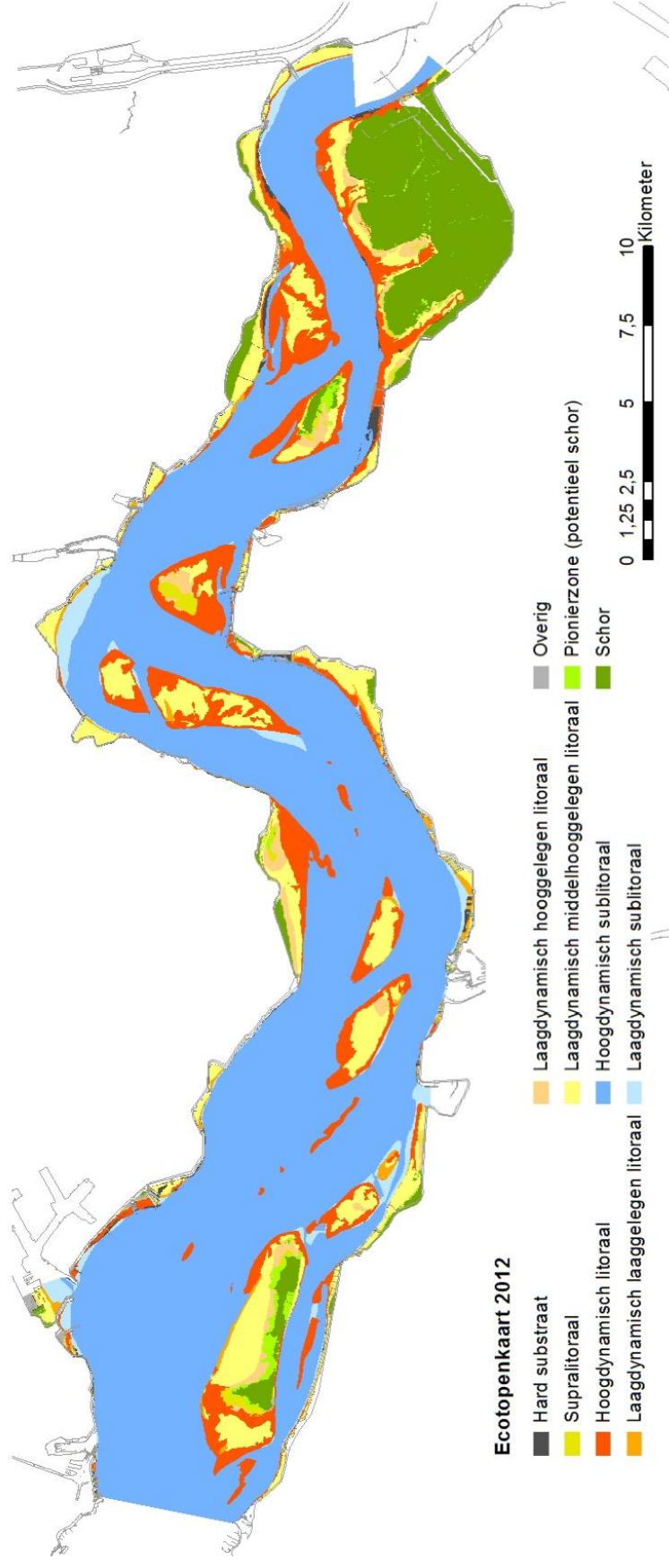


Figuur 41 Ecotopenkaart Westerschelde 2010 (versie V3 december 2013, gebiedsafbakening conform voorliggende rapport).



Figuur 42 Ecotopenkaart Westerschelde 2011 (versie V3 december 2013, gebiedsafbakening conform voorliggende rapport).





Figuur 43 Ecotopenkaart Westerschelde 2012 (versie V3 december 2013, gebiedsafbakening conform voorliggende rapport).

## Bijlage 3 Geomorfologische kaarten

Overgangen van en naar vlak, laag energetisch zand.

	1996- 2001	2001- 2004	2004- 2008	2008- 2010	2010- 2011	2011- 2012
<b>Van vlak, laag energetisch zand naar</b>						
Laag golvend reliëf, laag energetisch	18	4	4	4	4	9
Schor (zeer open, pollen)	32	18	91	11	26	22
3D-megaribbels, hoog energetisch	10	7	58	0	3	10
2D-megaribbels, hoog energetisch	53	35	59	25	13	15
Gegolfd reliëf, hoog energetisch	30	15	97	13	38	68
Vlak, hoog energetisch	211	230	250	221	220	237
Vlak, laag energetisch slibrijk zand	240	107	383	127	152	235
Niet gewijzigd	639	941	1.073	1.332	1.753	1.755
	1.256	1.372	2.066	1.744	2.226	2.363
<b>Naar Vlak, laag energetisch zand van</b>						
Laag golvend reliëf, laag energetisch		35	23	1	1	6
Schor (zeer open, pollen)		48	4	44	11	10
3D-megaribbels, hoog energetisch	11	13	27	48	5	1
2D-megaribbels, hoog energetisch	125	101	37	49	38	19
Gegolfd reliëf, hoog energetisch	77	73	17	125	43	52
Vlak, hoog energetisch	184	246	249	281	320	243
Vlak, laag energetisch slibrijk zand	316	594	302	328	183	141
Niet gewijzigd	639	941	1.073	1.332	1.753	1.755
	1.372	2.066	1.744	2.226	2.363	2.233
<b>Netto verandering vanwege vlak, laag energetisch zand</b>						
Laag golvend reliëf, laag energetisch	-18	30	19	-4	-3	-3
Schor (zeer open, pollen)	-32	30	-87	33	-14	-12
3D-megaribbels, hoog energetisch	0	5	-31	47	3	-9
2D-megaribbels, hoog energetisch	72	66	-21	24	25	4
Gegolfd reliëf, hoog energetisch	47	58	-81	112	5	-16
Vlak, hoog energetisch	-27	16	-1	60	100	6
Vlak, laag energetisch slibrijk zand	76	487	-81	201	31	-94

Tabel 2 Veranderingen in de geomorfologische kaarten in de arealen in hectares vlak, laag energetisch zand.